

Computertomographische Vermessung der Brust- und
Lendenwirbelsäule von Hund und Katze zur Ermittlung
eines optimalen Implantationswinkels bei der chirurgischen
Versorgung von Wirbelfrakturen und -luxationen

Julia Seibert-Mosch

INAUGURAL-DISSERTATION zur Erlangung des Grades eines **Dr. med. vet.**
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2012

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2012

© 2012 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Aus dem
Klinikum Veterinärmedizin
Klinik für Kleintiere - Chirurgie
der Justus-Liebig-Universität Gießen
Betreuer: Prof. Dr. Dr. h. c. Martin Kramer

**Computertomographische Vermessung der Brust-
und Lendenwirbelsäule von Hund und Katze zur
Ermittlung eines optimalen Implantationswinkels
bei der chirurgischen Versorgung von Wirbelfrakturen
und -luxationen**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Julia Seibert-Mosch

Tierärztin aus Berlin

Gießen 2012

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h. c. Martin Kramer

Gutachter: Prof. Dr. Sabine Wenisch

PD Dr. Rainer Hospes

Tag der Disputation: 6. Juni 2012

*meiner unvergleichlichen Mutter gewidmet
und
meinem Patrick*

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Anatomie der Wirbelsäule von Hund und Katze	2
2.1.1	Knöcherner Aufbau	2
2.1.2	Brustwirbelsäule von Hund und Katze	3
2.1.3	Lendenwirbelsäule von Hund und Katze	5
2.1.4	Kreuzbein	6
2.1.5	Bänder der Wirbelsäule	7
2.1.6	Gelenke der Brust- und Lendenwirbelsäule	7
2.1.7	Muskulatur der Brust- und Lendenwirbelsäule	8
2.1.8	Rückenmark	9
2.2	Biomechanik der Wirbelsäule	10
2.2.1	Biomechanik der menschlichen Wirbelsäule	10
2.2.1	Biomechanik der Wirbelsäule von Hund und Katze	12
2.3	Frakturen und Luxationen der thorakolumbalen Wirbelsäule	14
2.3.1	Humanmedizin	14
2.3.2	Veterinärmedizin	15
2.4	Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen	17
2.4.1	Humanmedizin	17
2.4.2	Veterinärmedizin	18
2.5	Diagnostik von Wirbelfrakturen und -luxationen	19
2.5.1	Humanmedizin	19
2.5.2	Veterinärmedizin	20
2.6	Therapie von Wirbelfrakturen und -luxationen	29
2.6.1	Humanmedizin	29
2.6.2	Veterinärmedizin	29
3	Eigene Untersuchungen	38
3.1	Material und Methoden	38
3.1.1	Patientengruppen	38
3.1.2	Auswahl der Patienten	40
3.1.3	Ausschlusskriterien	41
3.1.4	Vorbereitung der Patienten	42
3.1.5	Computertomographische Untersuchung	43

3.1.6	Messung der Wirbeldiameter und Winkel	44
3.1.7	Statistische Auswertung	54
4	Ergebnisse	55
4.1	Multifaktorielle Varianzanalyse	55
4.2	Haupteffekte der multifaktoriellen Varianzanalyse.....	58
4.2.1	Optimale Implantationswinkel je Tiergruppe.....	58
4.3	Wirbel der Brustwirbelsäule	61
4.3.1	Haupteffekt der Wirbel der Brustwirbelsäule aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse.....	62
4.4	Wirbel der Lendenwirbelsäule.....	66
4.4.1	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse über die Lendenwirbel	67
4.5	Optimale Winkel je Lokalisation über alle Tiergruppen	71
4.5.1	Optimaler Winkel der Brustwirbelsäule.....	71
4.5.2	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse über den Einfluss des Faktors ‚Lokalisation‘ auf den optimalen Winkel in der BWS.....	72
4.5.3	Optimaler Winkel der Lendenwirbelsäule	74
4.5.4	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse über den Einfluss des Faktors ‚Lokalisation‘ auf den optimalen Winkel in der LWS	75
4.6	Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘	79
4.6.1	Wechselwirkungen in der Brustwirbelsäule	79
4.6.2	Wechselwirkungen in der Lendenwirbelsäule.....	82
4.7	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	87
4.7.1	Überblick über Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Patientengruppen	87
4.7.2	Vergleich der Patientengruppen untereinander	91
5	Diskussion.....	93
5.1	Notwendigkeit der Ermittlung eines sicheren Implantationswinkels.....	93
5.2	Studiendesign.....	97
5.2.1	Patientengut	97
5.2.2	Ausschlusskriterien	98
5.2.3	Bildgebendes Verfahren	98
5.2.4	Lagerung der Patienten	99
5.2.5	Genauigkeit der Messungen.....	100

5.3	Schlussfolgerungen aus der Ermittlung der optimalen Implantationswinkel	101
6	Zusammenfassung	103
7	Summary	105
8	Literaturverzeichnis.....	107
9	Abbildungsverzeichnis.....	121
10	Tabellenverzeichnis.....	125

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
Abb.	Abbildung
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
C	Halswirbel
ca.	circa
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DSH	Deutscher Schäferhund
EKH	Europäisch Kurzhaarkatze
et al.	et alii
i.d.R.	in der Regel
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
L	Lumbalwirbel
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
LW	Lendenwirbel
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus
mm	Millimeter
Mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
opt.	optimal
PMMA	Polymethylmethacrylat
Proc.	Processus
Procc.	Processus
resp.	respektive
RHD	Rauhaardackel
S	Sakralwirbel
s	Standardabweichung
SOP	String of Pearls

Tab.	Tabelle
Th	Thorakalwirbel
VAA	Varianzanalyse
Wi	Winkel
WkaD	Wirbelkanaldurchmesser
WköD	Wirbelkörperdurchmesser
x	Mittelwert
x_{max}	maximaler Mittelwert
x_{min}	minimaler Mittelwert
z. B.	zum Beispiel

Alle anatomischen Termini wurden gemäß der 5. Auflage der Nomina Anatomica Veterinaria verwendet.

1 Einleitung

Wirbelfrakturen oder -luxationen sind prinzipiell keine häufige Ursache neurologischer Dysfunktionen bei Hund und Katze. Nur bei 6% aller Katzen und bei 7% aller Hunde ist eine Verletzung der Wirbelsäule bzw. des Rückenmarks die Ursache für neurologische Dysfunktionen (MARIONI-HENRY et al. 2004; FLUEHMANN et al. 2006). Aus therapeutischer Sicht sind Verletzungen der knöchernen Wirbelsäule bei Hund und Katze eine große Herausforderung, zumal keine einheitlichen Richtlinien bezüglich der Entscheidung für eine konservative oder chirurgische Therapie existieren (CABASSU J 2007). Regelmäßig empfohlen wird die Implantation von Pins und Schrauben in die angrenzenden gesunden Wirbel, um eine Stabilisierung des betroffenen Bezirks mittels Fixateur externe oder interne zu erreichen (WHEELER et al. 2002, SHARP und WHEELER 2005, CABASSU 2005). Als empfohlener Implantationswinkel für die Brustwirbelsäule gelten 45° - orientiert am senkrecht stehenden Proc. spinosus - jedoch fehlt hier in der Fachliteratur eine evaluierte Studie. Für die Lendenwirbelsäule wird von WHEELER und Mitarbeitern (2002) ein Implantationswinkel von 60° empfohlen, wobei es sich hier um eine Kadaverstudie mit nur geringer Fallzahl (n = 10) handelt und die Gruppe der Hunderassen eher inhomogen ist. Zielsetzung der chirurgischen Therapie ist neben der Dekompression des Rückenmarks zusätzlich die Stabilisierung der betroffenen Region. Da die Implantationsmöglichkeiten von Pins oder Schrauben in den Wirbelkörper aus anatomischer Sicht begrenzt sind und bis jetzt keine Angaben über Richtwerte von sicheren Implantationswinkeln in der Literatur existieren, erscheint die Bestimmung eines Richtwertes mit Hilfe computertomographischer Vermessungen der Brust- und Lendenwirbelsäule von Hund und Katze sinnvoll.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie der Wirbelsäule von Hund und Katze

Die Wirbelsäule mit ihren knöchernen Wirbeln, den Zwischenwirbelscheiben und den dazugehörigen Bandstrukturen dient der Umhüllung und dem Schutz des Rückenmarks (BUDRAS et al. 2004) und ist gleichzeitig Hauptträger des Stammskelettes (KOCH und BERG 1985).

Die Wirbelsäule von Hund und Katze besteht aus ca. 50 irregulären Knochen, die in fünf Gruppen eingeteilt werden: die Vertebrae cervicales (C 1 – C 7), die Vertebrae thoracales (Th 1 – Th 13), die Vertebrae lumbales (L 1 – L 7), die zum Os sacrum verschmolzenen Vertebrae sacrales (S 1 – S 3) und die annähernd 20 Vertebrae caudales, bzw. coccygeales (Cd 1 – Cd 20/25) (EVANS 1993).

Physiologische Kyphosen und Lordosen der Wirbelsäule (ZIETSCHMANN 1943) bieten nach SAUERBRUCH und Mitarbeitern (1954) einen Vorteil bei der Kräfteübertragung, da bei einer doppelt s-förmig gekrümmten Wirbelsäule die Belastungen auf mehrere Krümmungsscheitel verteilt werden (SAUERBRUCH et al. 1954). So wird im Verlauf der Wirbelsäule von Hund und Katze zwischen folgenden Krümmungen unterschieden:

- die dorsal-konvexe Kopf-Hals-Krümmung (Kyphose)
- die dorsal-konkave Hals-Brust-Krümmung (Lordose)
- die leicht konvexe Brust-Lenden-Krümmung (Kyphose)
- die dorsal konkave Lenden-Kreuzbein-Krümmung (Lordose)

2.1.1 Knöcherner Aufbau

Der einzelne Wirbel wird in drei Anteile aufgeteilt: den prismatischen *Corpus vertebrae*, den *Arcus vertebrae* - bestehend aus den beiden Pedikeln und den Laminae, die medio-dorsal miteinander verschmelzen - und zuletzt die *Processus*, die je nach Region und ihrer entsprechenden Funktion benannt sind und als Muskelansatzstellen oder Gelenkverbindung dienen (EVANS 1993).

Der Wirbelkörper besitzt eine kraniale und kaudale Endplatte sowie eine Crista ventralis, die in ihrer Prominenz von der Halswirbelsäule zur Lendenwirbelsäule hin unterschiedlich ausgeprägt ist. Der Wirbelbogen, auch Neuralbogen genannt, wird aus den zwei Pedikeln und der dorsalen Lamina gebildet. Gemeinsam mit dem Wirbelkörper bilden sie das *Foramen vertebrale*. In der Aneinanderreihung aller Wirbel entsteht so der *Canalis vertebralis*, in dem das Rückenmark mit seinen Hüllen, austretenden Nerven, seinen Blutgefäßen und dem umgebenden lockeren Bindegewebe und Fett liegt (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994).

Die einzelnen Wirbel der Wirbelsäule unterscheiden sich je nach Region (zervikal, thorakal, lumbal oder sakro-kokkzygeal) deutlich voneinander und sollen im Folgenden bezüglich ihrer Charakteristika beschrieben werden. Hierbei liegt das besondere Augenmerk auf dem Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule, da die häufigste Lokalisation einer Wirbelfraktur (50 – 60%) beim Kleintier der Bereich Th11–L6 ist (HOERLEIN 1971; FEENEY et al. 1991; SELCER et al. 1991).

2.1.2 Brustwirbelsäule von Hund und Katze

Die thorakale Wirbelsäule ist aufgrund ihrer engen *Spatia interarcualia* und ihrer Abstützung durch die artikulierenden Rippen eher unflexibel.

Die Wirbelkörper der Brustwirbelsäule sind kürzer und weniger kompakt als die der Halswirbelsäule. Eine Crista ventralis fehlt den kranialen Brustwirbeln, im kaudalen Bereich tritt sie wieder deutlicher hervor. Die Wirbelendplatten der Thorakalwirbelsäule sind ab dem 3. Brustwirbel flach ausgebildet (EVANS 1993).

Am Übergang vom Wirbelkörper zum Arcus vertebrae liegt an jedem Brustwirbel, mit Ausnahme des 13., die *Fovea costalis cranialis*, resp. *caudalis*, die gemeinsam mit der dazwischen liegenden Bandscheibe die Einziehung für die Rippenköpfchen bildet (NICKEL et al. 2003).

Die Dornfortsätze der Brustwirbelsäule verändern sich in ihrer Form, Länge und Ausrichtung in Richtung der kaudalen Thorakalwirbelsäule: der Proc. spinosus des ersten Thorakalwirbels ist massiver als die folgenden, jedoch nahezu genauso lang wie diese. Die Kompaktheit der Dornfortsätze nimmt nach kaudal zwar ab, jedoch weisen sie nur geringe Veränderung bezüglich ihrer Länge und Ausrichtung auf. Erst ab dem 7. (8.) Thorakalwirbel richten sich die Procc. spinosi immer deutlicher in Richtung kaudal und verkürzen sich. Die Dornfortsätze der letzten beiden Brustwirbel

hingegen ragen nach kranial, weshalb der 10. Brustwirbel auch antiklinaler oder diaphragmatischer Wirbel genannt wird, da er einen nahezu senkrecht zur Lamina stehenden Processus spinosus aufweist (ZIETSCHMANN 1943; SHARP und WHEELER 2005; KÖNIG und LIEBICH 2009). Die Processus transversus der Brustwirbelsäule sind kurz und irregulär, sie enthalten jeweils eine *Fovea costalis transversalis* zur Gelenkbildung mit den Rippenköpfchen (Abb. 1).

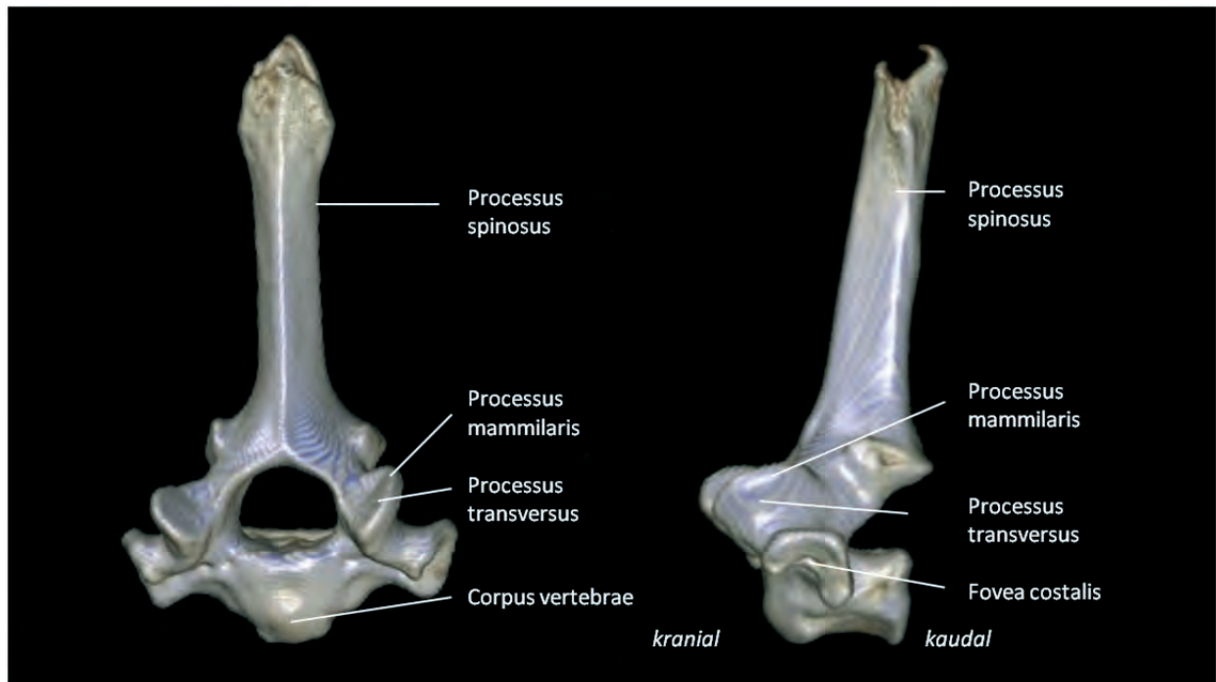


Abbildung 1: 3D Rekonstruktion einer Computertomographie des 3. Brustwirbels eines männlichen Beagles. Links im Bild die Ansicht von kranial, rechts im Bild die Lateralansicht des Wirbels.

Ab dem 2. (3.) Thorakalwirbel sitzen dem dorsalen Anteil der Querfortsätze zusätzlich die *Procc. mammilares* auf, die paarig bis zur Schwanzwirbelsäule weiter zu verfolgen sind und ab dem 10. Thorakalwirbel mit dem Proc. transversus verschmelzen. Hier heißen sie *Procc. mammiarticulares* (EVANS 1993).

Ab der mittleren Brustwirbelsäule beginnen die *Procc. accessorii*, die an den kaudalen Grenzen der Pedikel entspringen. Zunächst sind sie im Bereich des jeweiligen Querfortsatzes lokalisiert, rücken dann aber zunehmend in Richtung des Wirbelbogens (NICKEL et al. 2003).

2.1.3 Lendenwirbelsäule von Hund und Katze

Die Wirbel der Lendenwirbelsäule sind länger und kräftiger ausgebildet, als die der Brustwirbelsäule, im Vergleich zur Zervikalwirbelsäule allerdings kürzer und schmaler. Die Arcus vertebrae nehmen an Höhe zu, was der *Intumescentia lumbalis* des Rückenmarks im Bereich L 3 - 5 Rechnung trägt (NICKEl et al. 2003).

Die Dornfortsätze sind im Bereich der mittleren Lendenwirbelsäule am höchsten, jedoch nur etwa halb so lang wie diejenigen der kranialen Brustwirbelsäule (EVANS 1993).

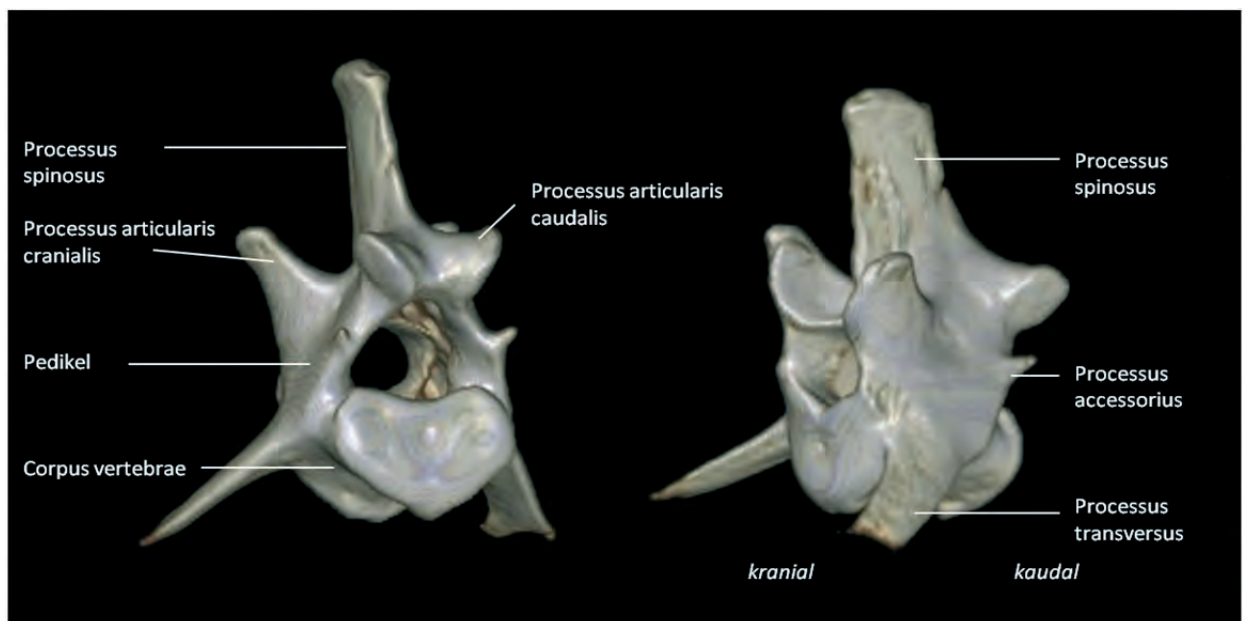


Abbildung 2: 3D Rekonstruktion einer Computertomographie des 3. Lendenwirbels eines männlichen Beagles. Links im Bild die Ansicht von kaudal, rechts im Bild die kranio-laterale Ansicht des Wirbels.

Die Querfortsätze sind nach kranial und leicht ventral gerichtet (Abb. 2), im Bereich der mittleren Lumbalwirbelsäule sind sie am längsten. Die Hilfsfortsätze sind an den ersten 3 (4) Lendenwirbeln gut entwickelt, fehlen jedoch ab dem fünften und/oder sechsten Lumbalwirbel. Ebenso wie die Wirbel der mittleren bis kaudalen Brustwirbelsäule weisen die Lendenwirbel Procc. mamillares auf (EVANS 1993; NICKEl et al. 2003). Ein Vergleich zwischen zwei Lendenwirbeln von Hund und Katze ist Abbildung 3 zu entnehmen.

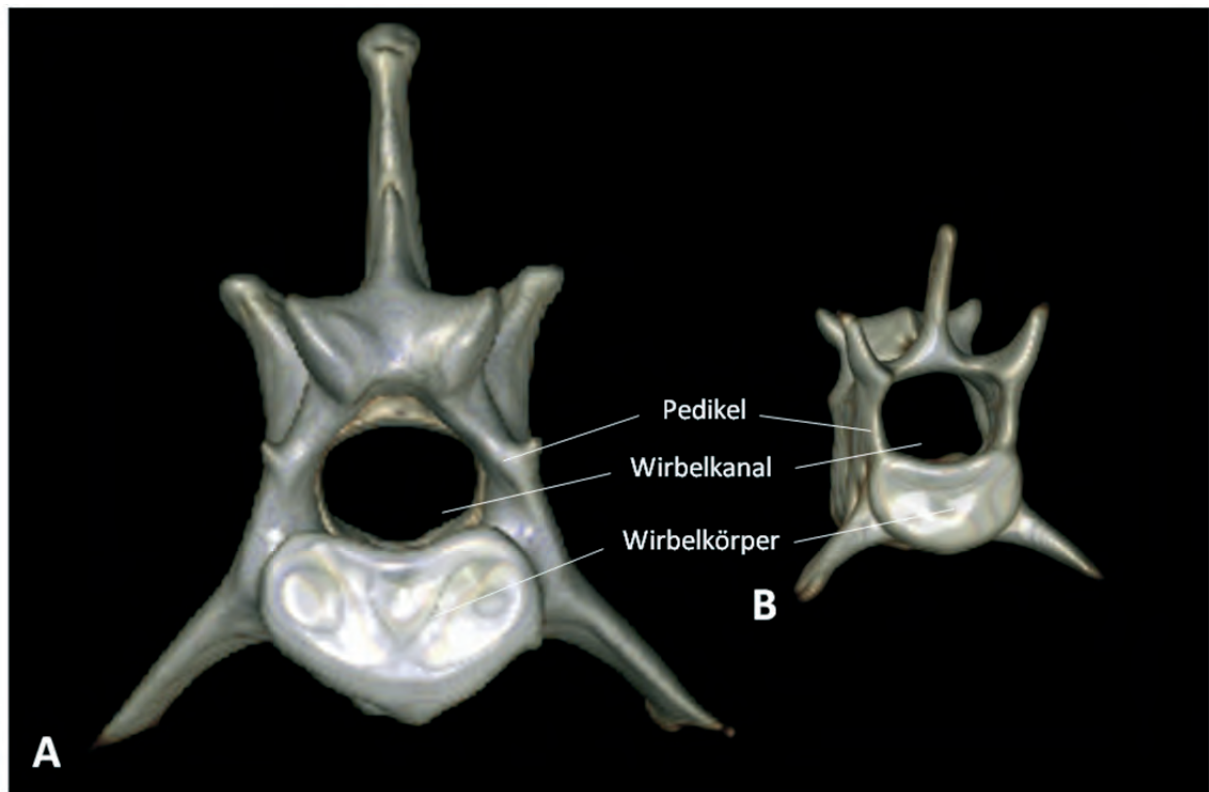


Abbildung 3: Die Lendenwirbel von Hund (Beagle) (A) und Katze (EKH) (B) im Vergleich.

Deutlich wird in der Abbildung, dass die Pedikel eines Katzenwirbels verhältnismäßig schmaler sind, als die eines Hundewirbels. Der Wirbelkanal hingegen erscheint bei der Katze größer im Vergleich zum Wirbelkörper, als es beim Hundewirbel der Fall ist.

2.1.4 Kreuzbein

Die drei Wirbel der Sakralwirbelsäule verwachsen im Laufe der ersten 18 Lebensmonate zum *Os sacrum*. Die Form des Kreuzbeins ist bei Hund und Katze annähernd dreieckig, der schmalere Anteil weist nach kaudal. An der Basis des *Os sacrum* verbinden sich die *Alae ossis sacri* mit den Darmbeinflügeln zu einem unechten Gelenk (BUDRAS et al. 2004).

Die Dornfortsätze des Kreuzbeins sind bei Hund und Katze nicht miteinander verschmolzen, beim Hund sind sie nur als kleine Vorwölbungen, bei der Katze als deutliche Dornfortsätze ausgebildet (KÖNIG 1992).

2.1.5 Bänder der Wirbelsäule

Stabilität gewinnt die Wirbelsäule neben der dort ansetzenden Muskulatur durch Bänder außerhalb und innerhalb des Wirbelkanals, diese werden eingeteilt in lange und kurze Bänder (BUDRAS et al. 2004).

Lange Bänder der Wirbelsäule:

Das *Ligamentum longitudinale ventrale* verläuft vom 7. Brustwirbel bis zum Os sacrum im Bereich der Crista ventralis. Das *Lig. longitudinale dorsale* liegt der dorsalen Fläche der Wirbelkörper im Wirbelkanal an und zieht vom zweiten Halswirbel bis zu den ersten Schwanzwirbeln.

Das elastische *Lig. nuchae* des Hundes beginnt kaudal am Axiskamm und reicht bis zum Dornfortsatz des 1. Brustwirbels. Hier geht es in das *Lig. supraspinale* über, das die Enden der Procc. spinosi miteinander verbindet (ZIETSCHMANN 1943).

Kurze Bänder der Wirbelsäule:

Das *Lig. interspinale* verläuft zwischen den Dornfortsätzen und wird bei der Katze, seltener beim Hund, zum Teil durch Muskelfasern ersetzt (LANG und LOEFFLER 1972). BUDRAS et al. (2004) gehen davon aus, dass diese Bänder nicht existieren, sondern ausschließlich *Mm. interspinalia* zwischen den Proc. spinosi bestehen.

Die *Ligg. flava* verbinden als kurze elastische Bänder die Wirbelbögen miteinander; zwischen den Procc. transversi der Lendenwirbelsäule verläuft jeweils das *Lig. intertransversarium*.

Zwischen dem 2. und 11. Brustwirbel liegen zusätzlich die *Ligg. intercapitalia*, die als kurze Verbindungen an den gegenüberliegenden Rippenköpfchen ansetzen. Die Tatsache, dass die Ligg. intercapitalia dorsal des Anulus fibrosus, jedoch ventral des Lig. longitudinale dorsale liegen (JEFFREY 1995), sehen KING (1986), THACHER (1989), JEFFREY (1995) sowie TOOMBS und WATERS (2003) als Begründung für die niedrige Inzidenz von Bandscheibenvorfällen im Bereich des 2. bis 11. Brustwirbels an.

2.1.6 Gelenke der Brust- und Lendenwirbelsäule

Die Gelenke der Brust- und Lendenwirbelsäule bei Hund und Katze sind zum einen Schiebegelenke zwischen den Gelenkfortsätzen benachbarter Wirbel und

andererseits Wechselgelenke zwischen den Rippenköpfchen und der jeweiligen Fovea costalis cranialis resp. caudalis (BUDRAS et al. 2004).

2.1.7 Muskulatur der Brust- und Lendenwirbelsäule

Wie bei den Bändern der Wirbelsäule wird auch bei der Muskulatur zwischen kurzen und langen Muskeln unterschieden (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994; NICKEL et al. 2003).

Zu den langen Rückenmuskeln zählt der *M. iliocostalis*, der wiederum in einen lumbalen und thorakalen Anteil gegliedert ist. Der *M. iliocostalis lumborum* entspringt an der Innenseite der Darmbeinflügel, am Darmbeinkamm und aus Anteilen eines Faszienblattes der *Fascia thoracolumbalis* (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994). Der *M. iliocostalis thoracis* geht nach FREWEIN und VOLLMERHAUS (1994) ohne äußerliche Grenze aus dem *M. iliocostalis lumbalis* hervor und zieht von der 12. Rippe bis zum 7. Halswirbel.

Als längster Muskel der Körpers von Hund und Katze zieht der *M. longissimus* vom Kreuzbein und Darmbein bis zum Hinterhauptsbein und wird ebenfalls unterteilt in einen lumbalen, thorakalen und zervikalen Anteil, wobei letzterer in den *M. longissimus capitis* mündet (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994; NICKEL et al. 2003).

Zu den kurzen Rückenmuskeln zählen die *Mm. interspinales* sowie die *Mm. intertransversarii, lumborum und thoracis*. Letztere verlaufen als schmale Muskelbündel zwischen den *Procc. mammilares* des 7. und 9. Lendenwirbels und den *Procc. accessorii* des 12. bis 8. (4.) Brustwirbels. Funktionell wird die Muskulatur der Wirbelsäule in einen dorsalen und einen ventralen Anteil eingeteilt, wobei die dorsalen Wirbelsäulenmuskeln dem Aufrichten und Seitwärtsbewegen der Wirbelsäule dienen, wohingegen die ventral gelegenen Muskeln als Ab- und Seitwärtsbieger fungieren (BUDRAS et al. 2004).

Die Muskeln des Abdomens, des kranialen Schultergürtels sowie die Beckengürtelmuskulatur setzen zwar nicht direkt an der Wirbelsäule an, sind jedoch ebenfalls an der Bewegung der Wirbelsäule beteiligt.

2.1.8 Rückenmark

Das Rückenmark, *Medulla spinalis*, liegt umgeben von den Meningen im Wirbelkanal und reicht von der *Medulla oblongata* bis zur *Cauda equina* (JAGGY 2007).

Ebenso wie die einzelnen Wirbelsäulenabschnitte wird es in fünf Regionen eingeteilt: zervikal, thorakal, lumbal, sakral und kokkzygeal. Der kaudale Teil der zervikalen Region (C 6 – Th1) sowie der kaudale Teil der Lumbalregion (L 5 – S 3) verdicken sich durch ein vermehrtes Vorhandensein von Neuronen zur *Intumescentia cervicalis*, resp. *caudalis* und geben die Nerven für die Plexus brachialis und – lumbalis ab. Bei der Katze findet sich zusätzlich im Bereich des 12. Thorakalwirbels die *Intumescentia thoracalis* (NICKEL et al. 2003).

Die Angaben über die Lokalisation der Plexus variieren. So beschreibt EVANS (1993), dass bei 20% der untersuchten Hunde der Plexus brachialis aus dem Bereich C 5 – Th 1 und bei weiteren 20% im Bereich C 6 – Th 2 entspringt. Ähnliche Ergebnisse ermittelt FLETCHER bezüglich des Plexus lumbalis: bei 20% der Hunde entspringt das Lendengeflecht im Bereich C 6 – Th 2, bei weiteren 20% im Gebiet von L 6 – S 3 (FLETCHER 1970).

Kaudal der Lumbalschwellung im Bereich des 6. und 7. Lendenwirbels liegt der *Conus medullaris*, der die restlichen Segmente der kokkzygealen *Medulla spinalis* enthält. Bei der Katze liegt der *Conus medullaris* am kaudalen Ende des Kreuzbeins (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994). Das Rückenmark endet schließlich im Bereich des Kreuzbeines in Form des *Filum terminale*, einem feinem Strang, vorwiegend bestehend aus Glia- und Ependymzellen. Bei der Katze erstreckt sich das Rückenmark noch über die ersten drei bis vier Wirbel der Schwanzwirbelsäule hinaus. (NICKEL et al. 2003).

Durch den Austritt der einzelnen Spinalnerven erfolgt eine segmentale Gliederung des Rückenmarks. Da das erste Paar der Spinalnerven den Wirbelkanal bereits zwischen Os occipitale und Atlas durch das Foramen laterale verlässt, existieren acht zervikale Segmente. Die Anzahl der restlichen Segmente entspricht jeweils der Anzahl der Wirbel. Durch den *Ascensus medullae spinalis* während der Embryonalentwicklung kommt es, insbesondere in den kaudalen Segmenten, zu einer Diskrepanz zwischen Rückenmarkssegment und entsprechendem Wirbel (RÜSSE und SINOWATZ 1998; SCHNORR und KRESSIN 2006). Zwar liegen embryonal die Nervenursprünge und *Forr. intervertebralia* in allen Rückenmarksbereichen auf gleicher Ebene, doch durch das verzögerte Wachstum

des Rückenmarks gegenüber dem Wirbelkanal kommt es zur scheinbaren Kranialverlagerung der Medulla spinalis (Aszensus). Somit verlaufen die Wurzeln der Spinalnerven bei Hund und Katze im Zervikal- und Thorakalbereich noch annähernd transversal zum Rückenmark, in den Lumbal- und Sakralsegmenten hingegen verlassen sie den Wirbelkanal erst nach longitudinalem Parallelverlauf zum Rückenmark (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994; NICKEL et al. 2003). Bei Hunden unter 7 kg Körpergewicht liegen die Lenden- und Kreuzsegmente ca. einen halben Wirbel weiter kaudal als bei Hunden größerer Rassen (FREWEIN und VOLLMERHAUS 1994).

2.2 Biomechanik der Wirbelsäule

Unter dem Begriff Biomechanik wird die Anwendung mechanischer Gesetze auf lebende Strukturen verstanden. Teilgebiet der Biomechanik ist die Dynamik, die wiederum in Kinetik und Kinematik gegliedert wird (BADOUX 1977).

Die Kinematik beschreibt die Bewegung eines Körpers im Raum, ohne die Ursachen für die Bewegung (einwirkende Kräfte) mit einzubeziehen. Die Änderung der Position eines Körpers im Raum durch auf ihn einwirkende Kräfte wird in der Kinetik beschrieben (BADOUX 1977). Für das Verständnis von Läsionen der knöchernen Strukturen und ihrer Auswirkungen auf den neurologischen Status des Tieres ist daher die Kenntnis der Kräfteverhältnisse an der Wirbelsäule vonnöten.

2.2.1 Biomechanik der menschlichen Wirbelsäule

Die Biomechanik der menschlichen Wirbelsäule wird maßgeblich bestimmt durch die natürlichen Kyphosen und Lordosen der Wirbelsäule, durch die Pufferfunktion der Bandscheiben und die stabilisierende Funktion von Muskulatur und Bandapparat. Der deutliche Unterschied zum Tetrapoden liegt in der aufrechten Haltung des Menschen (habituelle Bipedie). Die Rückenmuskulatur dient hierbei als sogenanntes „tension-band“-System im Sinne einer Zuggurtung, wodurch der aufrechte Gang erst ermöglicht wird (HARMS et al. 1996; HARTER 2001).

Funktionell wird die Wirbelsäule außerdem in einzelne Bewegungssegmente eingeteilt, die aus jeweils zwei benachbarten Wirbeln, der dazwischen liegenden Bandscheibe, den Wirbelgelenken und dem zugehörigen Bandapparat bestehen

(HARMS 1998). Für ein Bewegungssegment existieren im Raum insgesamt zwölf Bewegungsrichtungen, die im folgenden Modell nach WHITE et al. (Abb. 4) dargestellt werden.

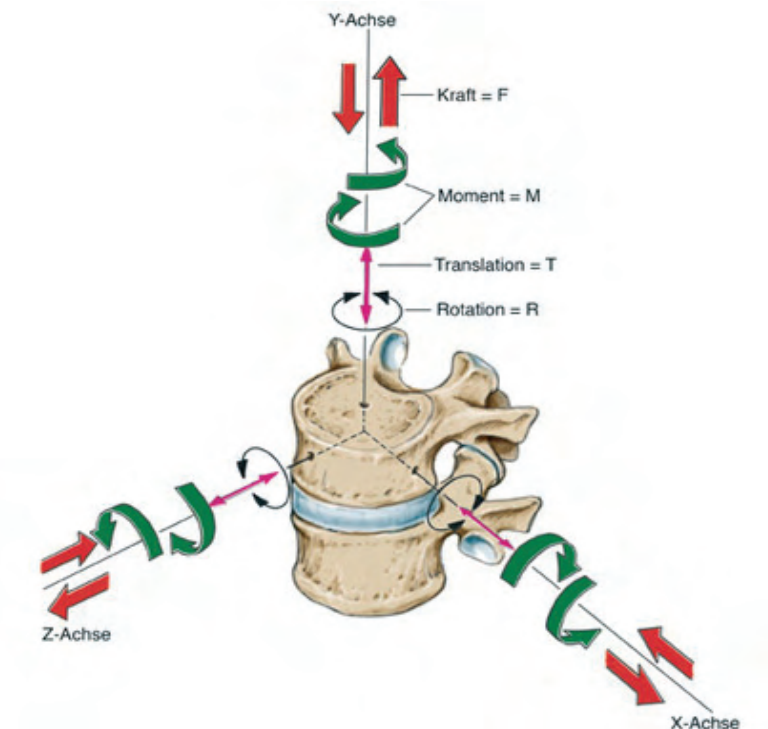


Abbildung 4: Bewegungssegment einer menschlichen Wirbelsäule, bestehend aus zwei Wirbeln (WHITE und PANJABI 1990).

Die drei eingezeichneten Achsen beschreiben die Richtungen, in welche die Wirbelsäule flexibel ist:

X-Achse = Beugung und Streckung der Bewegungssegmente

Y-Achse = Seitwärtsdrehung

Z-Achse = Seitwärtsneigung

Zusätzlich können auf jede Achse Kompressionskräfte (F) und über das Drehmoment (M) Rotationskräfte (R) wirken. Die Kraftübertragung in der Senkrechten geschieht über die Translation (T).

Die Brustwirbelsäule des Menschen zeigt im Vergleich zur Hals- und Lendenwirbelsäule die geringste Beweglichkeit in frontaler und sagittaler Ebene, da die Rippen des Brustkorbs fest über Gelenkverbindungen mit den Brustwirbeln und dem Brustbein verbunden sind. Als Schwachpunkt der Biomechanik wird von BOGDUK (1991), ANDERSON (1997) sowie RUF et al. (2006) der lumbosakrale Übergang (L 5 – S 1) bezeichnet, da der 5. Lendenwirbel bei einer Veränderung des Lenden-Kreuzbeinwinkels eine Tendenz zeigt, nach ventral zu gleiten, wobei der Lumbosakralwinkel des Menschen dem nach dorsal offenen Winkel zwischen der Längsachse des 5. Lendenwirbels und des 1. Sakralwirbels entspricht (ca. 135°) (BOGDUK 1991; ANDERSSON 1997; RUF et al. 2006). Somit ist die

Lendenwirbelsäule des Menschen durch seine habituelle Bipedie sowie die im Vergleich zur Brustwirbelsäule höhere Beweglichkeit einer vermehrten statischen und biomechanischen Belastung ausgesetzt (ANDERSON 1997, RUF et al. 2006).

2.2.1 Biomechanik der Wirbelsäule von Hund und Katze

Auf die Wirbelsäule von Hund und Katze wirken Traktions-, Kompressions- und Rotationskräfte ein, die vor allem durch die Pufferfunktion der Bandscheiben (WHEELER 1995, NICKEL et al. 2003), aber auch durch den Bandapparat und die Stütz- und Haltemuskulatur abgeschwächt, bzw. umgeleitet werden.

SLIJPER entwickelte 1946 die Bogen-Sehnen-Theorie von STRASSER (1913) weiter, nach welcher die Kräfteverhältnisse der Wirbelsäule einer parabolischen Bogensehnenbrücke entsprechen (SLIJPER 1946). Die Brust- und Lendenwirbelsäule mit den dazugehörigen Bändern, Muskeln, Gelenken und Bandscheiben entspricht demnach dem Bogen, die Sehne wird hingegen durch die Bauchmuskulatur und das Sternum repräsentiert. Als Aufhängung für die Sehne dienen das straffe Iliosakralgelenk, die Rippen sowie die *Mm. obliquus internus et externus* (Abb. 5).

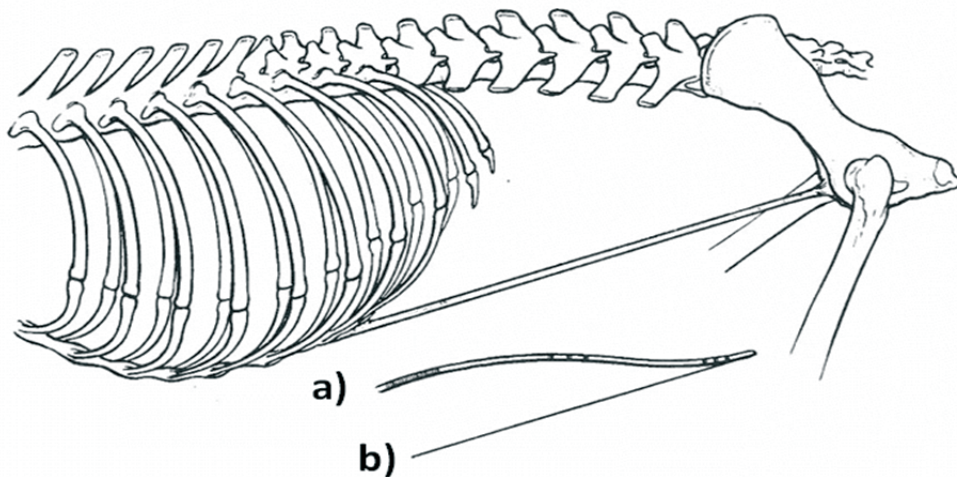


Abbildung 5: Die Biomechanik der Brust- und Lendenwirbelsäule nach JEFFREY (1995): Lateralansicht des knöchernen Stammskeletts eines Hundes mit Rippen und Oberschenkeln: oben abgebildet das knöchernen Skelett von Brust- und Lendenwirbelsäule eines Hundes. Darunter schematisch der Bogenschaft (a) – dieser entspricht der Brust- und Lendenwirbelsäule. Die dazugehörige Sehne (b) stellt das Analogon zur schiefen Bauchmuskulatur und deren Aufhängung am Os pubis dar.

Bei maximaler konvexer Biegung (z.B. im schnellen Lauf) wird der Bogen derart verformt, dass die Gliedmaßen weit unter den Körper gezogen werden. Die Hintergliedmaßen übernehmen nun die Schubkraft, während die Vordergliedmaßen in der Streckphase (also bei maximal-konkaver Krümmung des Bogens nach ventral) den Auffang- und Abfederungsmechanismus des Skeletts übernehmen. Als stabilisierendes und ferner ausbalancierendes Moment wirken hierbei Halswirbelsäule und Kopf (NICKEL et al. 2003), die nach SLIJPER (1946) einem per Zugverspannung an einer Mauer befestigten Freitrager ähneln (Abb. 6). KUMMER vergleicht diesen Mechanismus mit einem Kragarm (KUMMER 1959).

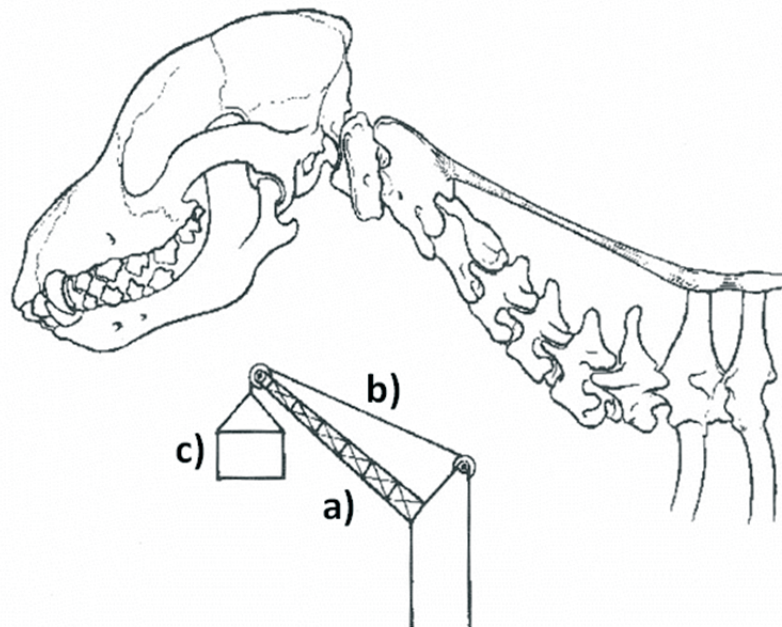


Abbildung 6: Biomechanik der Halswirbelsäule des Hundes nach JEFFREY (1995).

Im Vergleich die knöcherne Halswirbelsäule des Hundes (oben) und der Kragarm mit seinen Bestandteilen: (a) Kran - entspricht der knöchernen Wirbelsäule; (b) Seilwinde – entspricht dem Lig. nuchae und (c) Gewicht – entspricht dem Schädel.

2.3 Frakturen und Luxationen der thorakolumbalen Wirbelsäule

Ein Wirbelsäulentrauma entsteht, wenn die individuelle Belastbarkeit der Wirbelsäule in ihren muskulären, diskoligamentären und ossären Strukturen durch eine massive Krafteinwirkung überschritten wird. Entsprechend der Kraftrichtung unterscheiden sich die jeweiligen Verletzungsmuster (EGGERS und STAHLBRECHER 1998).

2.3.1 Humanmedizin

Laut EGGERS et al. (1998) betreffen nur 3-6% aller Skelettverletzungen die Wirbelsäule. Nach einer Studie von KNOP et al. (1999) sind von traumatischen Wirbelfrakturen und -luxationen im Thorakolumbalbereich Männer mit einem Anteil von 64% deutlich häufiger betroffen als Frauen. Ab einem Alter von >50 Jahren überwiegt bei den Frakturen der Wirbelsäule der Anteil der weiblichen Patienten, was auf den hohen Anteil von pathologischen Wirbelfrakturen aufgrund einer Typ I-Osteoporose (postmenopausale Osteoporose) zurückzuführen ist (O'NEILL et al. 1996; KNOP et al. 1999; LEUCHT 2005).

Ursache für ein Wirbelsäulentrauma ist nach KNOP et al. (1999) zu 50,4% ein Sturz aus der Höhe, am zweithäufigsten treten mit 22,1% Verkehrsunfälle als Ursache für eine Verletzung der Wirbelsäule auf. Patienten mit Wirbelsäulentrauma nach Verkehrsunfall zeigen zu 15% ein Polytrauma, wohingegen Patienten nach einem Sturz aus großer Höhe nur zu 4% polytraumatisiert sind. LEUCHT (2005) führt an, dass sich von den zwischen 1996-2000 im Bergmannsheil-Klinikum Bochum vorgestellten Patienten mit Wirbelfrakturen jeder zweite Patient (54,4%) eine Begleitverletzung zugezogen hat.

Mit Abstand am häufigsten von Frakturen betroffen ist der 1. Lendenwirbel (49,3%); Mehrsegment- oder Mehretagenläsionen treten signifikant häufiger bei polytraumatisierten Patienten auf (KNOP et al. 1999).

Die Einteilung von Wirbelfrakturen erfolgt nach MAGERL und Mitarbeitern (1994) in Kompressionsfrakturen, die durch axiale Gewalteinwirkung entstehen, bei denen vornehmlich der Wirbelkörper geschädigt wird (MAGERL et al. 1994). Als zweite Form von Wirbelfrakturen existieren nach MAGERL und Mitarbeitern (1994) die Distraktionsverletzungen, bei denen durch eine Kombination aus Flexions- und Distraktionsbewegung insbesondere das mittlere und kaudale Segment betroffen ist.

Die dritte Form der Wirbelfrakturen ist die Rotationsverletzung, die durch eine Kombination aus Flexion oder Kompression mit einer rotatorischen Komponente entstehen. Diese Verletzungen betreffen sowohl die kranialen als auch die kaudalen Kompartimente (MAGERL et al. 1994). Näheres zur Einteilung von Wirbelfrakturen ist in Kapitel 2.4 „Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen“ beschrieben.

2.3.2 Veterinärmedizin

Rückenmarksläsionen infolge einer Wirbelfraktur, -luxation oder –subluxation sind prinzipiell keine häufige Ursache neurologischer Dysfunktionen bei Hund und Katze. Nur bei 6% aller Katzen und bei 7% aller Hunde wird eine Verletzung der Wirbelsäule, bzw. des Rückenmarks als Ursache für neurologische Dysfunktionen gefunden (MARIONY-HENRY 2004; FLUEHMANN 2006).

Ursache für eine Wirbelfraktur bei Hund und Katze ist nahezu immer ein Hochrasanztrauma (Verkehrsunfall, Sturz aus großer Höhe); nur sehr wenige Patienten weisen pathologische Frakturen auf, z.B. hervorgerufen durch Neoplasien, eine aktive Diskospondylitis (Abb. 7) oder alimentäre Fehl-/bzw. Unterversorgungen (JOHNSON et al. 2006).

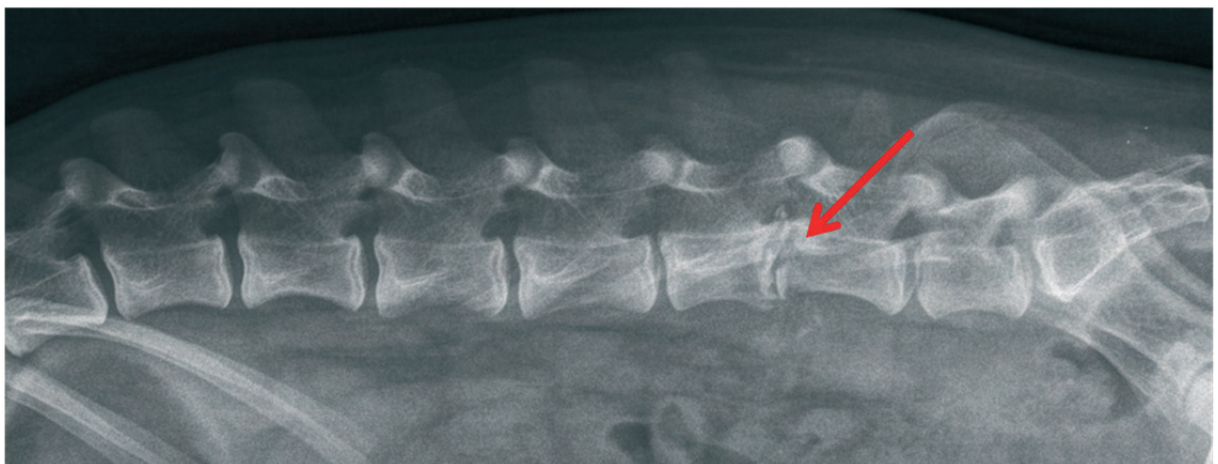


Abbildung 7: Röntgenbild der Lendenwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang einer 10 Monate alten Dobermann Hündin. Impressionsfraktur der kaudalen Endplatte von L 5 (roter Pfeil), entstanden im Rahmen einer idiopathischen Diskospondylitis.

Nach HOERLEIN (1971), FEENEY et al. (1980), GRIFFITH (1980), SELCER et al. (1991), SHORES (1992) und SOMMER (1998) treten Frakturen und Luxationen der Wirbelsäule am häufigsten im Bereich Th 11 – L 6 auf (50-60%), da hier ein Übergang zwischen einem eher unbeweglichen Segment (Brustwirbelsäule) und einem beweglichen Segment (Lendenwirbelsäule) vorliegt (HOERLEIN 1971; GRIFFITH 1980; FEENEY et al. 1991; SELCER et al. 1991; SHORES 1992; SOMMER 1998).

Wie in der Humanmedizin wird bei Frakturen der Wirbelsäule unterschieden zwischen Kompressionsverletzungen, Distraktionsverletzungen und Rotationsverletzungen.

Kompressionsverletzungen entstehen, indem die einwirkende Kraft axial auf die Wirbelsäule trifft, wie z. B. bei einem Autounfall, bei dem das Tier von hinten erfasst wird. Bei gleichzeitiger Flexion oder Extension der Wirbelsäule zerreißen die stabilisierenden Strukturen und es kommt zusätzlich zur Distraktionsverletzung (z.B. der sog. Schwanzabriss der Katze) (MONTAVON 2009).

Rotationsverletzungen wiederum entstehen durch einen Sturz aus großer Höhe, bei dem das Tier vermehrt seitlich aufprallt und auf eine Schulter- oder Beckengliedmaße fällt.

Von Wirbelfrakturen und -luxationen ist die thorakolumbale Wirbelsäule (Th 3 – L 3) sowohl bei Katzen (48%) als auch beim Hund (58%) am häufigsten betroffen (BALI et al. 2009). Frakturen des 7. Lendenwirbels treten laut BEAVER (1996) meist sekundär zu einem massiven Trauma auf und scheinen ein typisches Frakturmuster aufzuweisen. Zudem ist die Cauda equina immer mit betroffen (BEAVER et al. 1996).

2.4 Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen

2.4.1 Humanmedizin

1983 entwickelten die Humanmediziner DENIS und MC AFEE das sog. „Drei-Säulen-Modell“ der Wirbelsäule, das noch heute Anwendung in der Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen findet (DENIS 1983). Einige Autoren geben jedoch zu bedenken, dass dieses Modell den Mechanismus des vorangegangenen Traumas nicht mitberücksichtigt, weshalb mittlerweile die Differenzierung von MAGERL et al. (1994) für die Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen genutzt wird. Nach diesen Autoren werden die thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenfrakturen in drei Verletzungstypen (A = Kompressionsfraktur, B = Distraktion, C = Rotation) und diese wiederum in drei Hauptgruppen (A1 = Impaktionsbrüche, A2 = Spaltbrüche, A3 = Berstungsbrüche, B1, B2, B3, etc.) sowie weitere Untergruppen eingeteilt. Diese Einteilung ist laut GRÜNHAGEN et al. (2005) in ihrer Differenziertheit zwar umfangreich, stellt jedoch eine Kombination aus Pathomechanismus und Morphologie dar, was für eine exakte Lokalisation und diagnostische Aufarbeitung des Patienten erleichtert.

2.4.2 Veterinärmedizin

Ein einheitliches Modell zur Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen bei Hund und Katze in Anlehnung an die Humanmedizin fehlt derzeit. SHIRES et al. entwickelten 1991 das Drei-Säulen-Modell nach DENIS und McAFEE (1983) für Hund und Katze weiter, wobei hierbei nur der Grad der Instabilität der Fraktur/Luxation berücksichtigt wird (MCAFEE et al. 1983). Nach SHIRES und Mitarbeitern (1991) wird die Wirbelsäule von Hund und Katze in folgende Kompartimente (Säulen) unterteilt (Abb. 8):

1. Das dorsale Kompartiment, bestehend aus dem Wirbelbogen und den dorsalen Bandstrukturen inklusive der Gelenkkapsel
2. Das mediale Kompartiment, bestehend aus dem Lig. longitudinale dorsale, dem dorsalen Anteil des Anulus fibrosus sowie dem dorsalen Anteil des Wirbelkörpers
3. Das ventrale Kompartiment, bestehend aus dem Lig. longitudinale ventrale, dem ventralen Anteil des Anulus fibrosus und dem ventralen Anteil des Wirbelkörpers

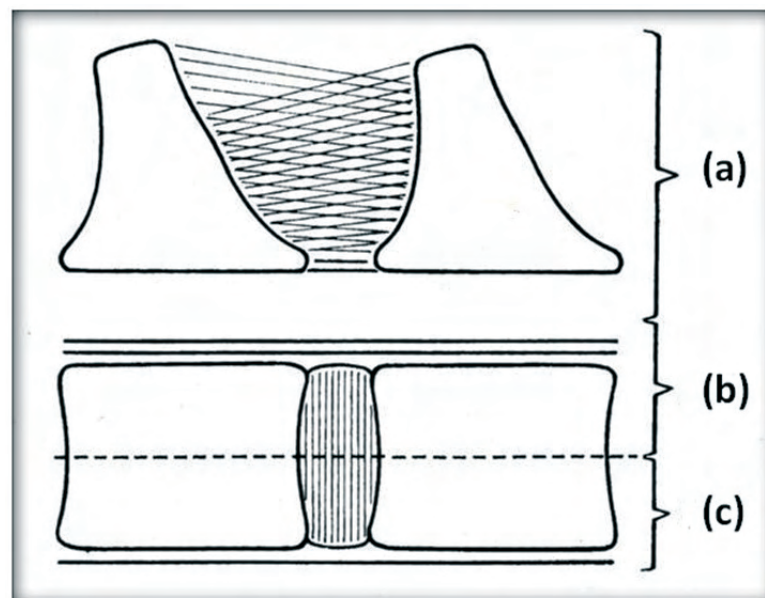


Abbildung 8: Das Drei-Säulenmodell nach DENIS (1983), adaptiert für den Hund nach JEFFREY (1995):

- (a) dorsales Kompartiment
- (b) mittleres Kompartiment
- (c) ventrales Kompartiment

Wird eins oder werden mehrere der drei Kompartimente aufgrund einer nicht zu kompensierenden Krafteinwirkung verletzt, verliert die Wirbelsäule an der betroffenen Lokalisation an Stabilität (EGGERS 1998).

Nach SHORES (1992) wird eine Wirbelfraktur als instabil eingestuft, wenn zwei oder drei der Kompartimente verletzt sind. Eine Wirbelluxation gilt als instabil, sofern das dorsale Kompartiment beteiligt ist. Als akut instabil wird eine Wirbelfraktur angesehen, wenn zwar klinisch und radiologisch keine massive Verschiebung der Kompartimente zu diagnostizieren ist, die Fraktur sich aber jederzeit wieder verschieben kann. Hierzu zählen ebenfalls Frakturen oder Luxationen, bei denen der Bandapparat verletzt wurde, wobei dann in der Regel das dorsale und mediale Kompartiment betroffen sind. Als chronisch instabil werden Frakturen angesehen, die zwar nicht unmittelbar zur Verschiebung, bzw. Einengung des Wirbelkanals führen, jedoch durch eine überschießende Kallusbildung langfristig eine Kompression des Rückenmarks bedingen (SHORES 1992; SHARP und WHEELER 2005).

2.5 Diagnostik von Wirbelfrakturen und -luxationen

2.5.1 Humanmedizin

Neben der klinisch-neurologischen Untersuchung sind die Anfertigung von konventionellen Röntgenaufnahmen in mindestens zwei Ebenen, die Computertomographie (CT) sowie die Magnetresonanztomographie (MRT) in der Humanmedizin bei der Diagnostik von Wirbelfrakturen unverzichtbar (SAIFUDDIN et al. 1996). SAIFUDDIN (1996) und GRÜNHAGEN (2005) stimmen darin überein, dass die MRT für die Frakturdarstellung ebenso geeignet ist, wie die CT, wobei GRÜNHAGEN (2005) zusätzlich darauf hinweist, dass eventuell vorhandene Rupturen der Längsbänder in der Magnetresonanztomographie sicherer zu detektieren sind (GRÜNHAGEN et al. 2005).

2.5.2 Veterinärmedizin

Im Gegensatz zur Humanmedizin, wo nur zwischen 4 - 15% aller Patienten mit einer Wirbelfraktur oder -luxation Polytraumapatienten sind (KNOP et al. 1999), weisen in der Veterinärmedizin deutlich mehr Patienten mit Wirbelfrakturen ein Polytrauma auf (HAWTHORNE et al. 1999). Laut SELCER et al. (1991) sowie HAWTHORNE et al. (1999) haben 40 – 50% aller Katzen und Hunde mit Wirbelfrakturen zusätzliche Befunde, wie z.B. einen Pneumothorax, ein kraniofaziales Trauma, eine Hernia diaphragmatica oder Verletzungen des Urogenitaltrakts. Nach einer Studie von TURNER et al. (1987) weisen 20% der Hunde mit Verletzungen der Lendenwirbelsäule zusätzlich Beckenfrakturen auf; 33% der Patienten haben zudem kardiopulmonale Läsionen. Daher ist es unabdingbar, vor der neurologischen Untersuchung eine allgemein klinische Untersuchung des Patienten durchzuführen (McKEE 1998). Letztlich ist die klinische Allgemeinuntersuchung auch deshalb notwendig, da ein eventueller Schockzustand die neurologischen Symptome stark beeinflussen kann. In diesem Fall ist eine Folgeuntersuchung nach Stabilisierung des Patienten nötig, um den neurologischen Status des Patienten zu präzisieren (JAGGY 2007).

Klinisch-neurologische Untersuchung:

Bei der Untersuchung eines Patienten mit dem Verdacht einer Wirbelfraktur oder -luxation muss mit äußerster Vorsicht vorgegangen werden. Häufiges Umlagern oder Manipulieren sind zu vermeiden, um eine weitere Verschiebung der Frakturrenden, bzw. eine erneute Luxation der betroffenen Wirbel zu verhindern (OLBY et al. 2003). MCKEE (1990) und HAWTHORNE (1999) sowie SHARP und WHEELER (2005) empfehlen eine rechtzeitige Immobilisation des Patienten (z.B. mit Kofferbändern auf einer Tischplatte oder einem Brett), da sich ca. 50% der Tiere innerhalb der ersten Stunden deutlich verschlechtern (McKEE 1998).

In der neurologischen Untersuchung werden neben Geh- und Stehfähigkeit des Patienten die spinalen Reflexe überprüft, um eine Lokalisation der Läsion und eine Einschätzung des neurologischen Status vorzunehmen.

Die neurologische Lokalisation kann mithilfe der folgenden Tabelle nach PLATT und OLBY (2004) ermittelt werden (Tab. 1):

Evaluation	Rückenmarkssegment Th 3 - L 3	Rückenmarkssegment L 3 - S 3
Bewusstsein	normal	normal
Haltung	normal oder Beckengliedmaßen werden unter den Körper gezogen bei eventuell veränderter Rutenhaltung	normal oder Beckengliedmaßen werden unter den Körper gezogen bei eventuell veränderter Rutenhaltung
Gang	Ataxie der Hintergliedmaßen	Ataxie der Hintergliedmaßen
Kopfnerve	ohne besonderen Befund	ohne besonderen Befund
Propriozeption	geringgradig verzögert bis abwesend	geringgradig verzögert bis abwesend
spinale Reflexe	Normo- bis Hyperreflexie der Hintergliedmaßen	Hypo- bis Areflexie der Hintergliedmaßen
spinale Hyperästhesie	variabel; abhängig von Schwere der Läsion	variabel; abhängig von Schwere der Läsion
Tiefenschmerz	variabel; abhängig von Schwere der Läsion	variabel; abhängig von Schwere der Läsion
spontaner Urinabsatz	bei motorischen Dysfunktionen: Detrusor Areflexie und Sphinkter Hypertonie	keine bis geringgradige Detrusor Areflexie; Sphinkter Hypotonie

Tabelle 1: Klinische Anzeichen einer thorakolumbalen oder sakrolumbalen Rückenmarksläsion modifiziert nach PLATT und OLBY (2004); Abkürzungen der Rückenmarkssegmente:

Th 3 – L 3 = 3. Brust- bis 3. Lendenwirbel; L 3 – S 3 = 3. Lendenwirbel bis 3. Sakralwirbel

Ein weiterer nicht seltener Befund bei Patienten mit Traumata der Brust- oder Lendenwirbelsäule kann das Schiff-Sherrington-Phänomen sein (Abb. 9). Diese Patienten zeigen einen gesteigerten Extensortonus der Vordergliedmaßen bei einem normalen (eventuell herabgesetzten) Muskeltonus der Beckengliedmaßen. Die Haltungs- und Stellreaktionen der Schultergliedmaßen sind hierbei unverändert, da propriozeptive Bahnen nicht betroffen sind (COATES 2004; JAGGY 2007).



Abbildung 9: Schiff-Sherrington Phänomen bei einem 7 Jahre alten Deutschen Schäferhund mit einer Wirbelluxation bei Th 13 – L 1 nach einem Autounfall. Zusätzlich zeigte der Patient ein abwesendes Tiefenschmerzempfinden.

Eine Aussagekraft bezüglich der Prognose hat das Schiff-Sherrington Phänomen laut PAPADOPOULOS (2002), COATES (2004) und JAGGY (2007) nicht. Im Gegensatz hierzu verschlechtern ein abwesendes Tiefenschmerzempfinden (OLBY 2003) und eine hochgradigen Verschiebung der Wirbel zueinander (PAPADOPOULOS 2002) die Prognose deutlich.

Röntgenologische Diagnostik:

Der klinischen Untersuchung folgt i.d.R. die bildgebende Diagnostik. Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang geben erste Informationen über den Schweregrad der Fraktur/Luxation (Abb. 10). In Anbetracht der Tatsache, dass sich durch ein Umlagern des Patienten auf den Rücken oder Bauch eine Fraktur, bzw. Luxation weiter verschieben kann, sollten die Aufnahme in der zweiten Ebene nur angefertigt werden, wenn Zweifel an der korrekten Diagnosestellung vorliegen. Hierbei kann eine temporäre Stabilisation der Wirbelsäule nach SHARP und WHEELER (2005) z.B. durch eine Plexiglas-Schiene erreicht werden. Eine weitere Vorsichtsmaßnahme ist die Anfertigung einer Aufnahme im dorso-ventralen, statt wie sonst üblich im ventro-dorsalen Strahlengang.



Abbildung 10: Röntgenbild der kaudalen Brust- und kranialen Lendenwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang eines 7 Jahre alten männlichen Pudels nach Autounfall: Es besteht eine Luxation des 2. Lendenwirbels nach ventral mit Verengung des Zwischenwirbelspaltes L 1 - 2. Zusätzlich zeigt der 1. Lendenwirbel eine Fraktur des Proc. articularis caudalis mit geringgradiger Dislokation nach kaudo-ventral (Pfeil).

Für die anzufertigenden Röntgenaufnahmen darf der Patient nach BLASS et al. (1988) nicht sediert oder anästhesiert werden, da im Rahmen der Anästhesie eine Muskelrelaxation stattfindet. Der durch das Trauma erhöhte Muskeltonus im Fraktur- bzw. Luxationsbereich, der eine weitere Deviation der Fraktarenden, bzw. der (sub)luxierten Wirbelkörper verhindert, wird durch die Anästhesie aufgehoben. Infolge dessen kann es zu einer vermehrten Kompression des Rückenmarks durch die erhöhte Instabilität kommen (KINNS et al. 2006).

Bei der Anfertigung eines Röntgenbildes entsteht ein zweidimensionales Summationsbild eines dreidimensionalen Objektes. Somit kommt es hierbei zwangsläufig zur Abbildung einander überlagernder Strukturen (BERRY und THRALL 2002). KINNS und Mitarbeiter beschreiben 2006, dass nur eine 72%ige Sensitivität für die Diagnostik von Frakturen der Wirbelsäule mittels Röntgen besteht. Bei Subluxationen der Wirbelsäule liegt die Sensitivität bei 77,5% (KINNS et al. 2006). Bei fraglichen Befunden oder zur exakten Planung eines chirurgischen Eingriffs ist daher die weiterführende bildgebende Diagnostik (Myelographie, Computertomographie oder Magnetresonanztomographie) angezeigt.

Myelographie:

In der Humanmedizin und auch in der Veterinärmedizin hat die Myelographie durch den Einsatz von CT und MRT in den letzten Jahren an Stellenwert verloren. In der Veterinärmedizin wird sie jedoch nicht selten als diagnostisches Mittel eingesetzt, da Schnittbildverfahren nicht immer zur Verfügung stehen.

Durch die Applikation eines jodhaltigen Kontrastmittels in den das Rückenmark umgebenden Subarachnoidalraum können raumfordernde Prozesse im Bereich des Wirbelkanals dargestellt werden (MAYRHOFER 2005; HECHT 2008). Im Fall einer Wirbelfraktur, bzw. -luxation gilt nach KRAMER und Mitarbeitern (2001) das Hauptinteresse bei dieser Untersuchungstechnik den Hinweisen auf traumatische Bandscheibenvorfälle, extradurale Hämatome, eine Schwellung des Rückenmarks, eine Einengung des Rückenmarks (Abb. 11) oder einem Austritt von Kontrastmittel aus dem Subarachnoidalraum was z.B. für eine Laceration der Meningen sprechen kann (MAYRHOFER 2005; HECHT 2008).



Abbildung 11: Röntgenbild der kaudalen Brustwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang eines 9 Monate alten Deutschen Schäferhundes, der von einem Motorrad erfasst wurde. Es besteht eine Fraktur der kaudalen Endplatte von Th 11 mit Luxation der Endplatte nach ventral. Zusätzlich ist die Luxation des 12. Brustwirbels nach ventral zu sehen. Es besteht weiterhin eine Luxation des Facettengelenkes zwischen Th 11 - 12. Die Kontrastmittelsäule zeigt über dem kranialen Anteil von Th 12 eine deutliche Einengung (Pfeil).

Für eine Myelographie ist die Allgemeinanästhesie und Intubation des Patienten obligat. Nach Scheren der Punktionsstellen und aseptischer Vorbereitung wird das Kontrastmittel entweder subokzipital über die Cisterna magna oder lumbal in das *Spatium lumbosacrale* injiziert (SCHMIDT-OECHTERING und ALEF 1993; BUDRAS

et al. 2004; MAYRHOFER 2005). Bei großen Hunden kann durch den kurzen Aszensus des Rückenmarks eine Punktion auf Höhe des 4./5. Lendenwirbels nötig werden (HECHT 2008). Für die Katze geben wenige Autoren den sakrokokkzygealen Übergang, bzw. den Spalt zwischen den ersten beiden Schwanzwirbeln an (GÖBEL 1953).

Als Kontrastmittel für die Myelographie werden standardmäßig nichtionisierende, jodhaltige Präparate verwendet (z.B. Iohexol, Iotrolan o.ä.) (HECHT 2008). Die Injektion zur Untersuchung der Brust- und Lendenwirbelsäule erfolgt über eine der oben beschriebenen Lokalisationen mit einer Dosierung von 0,2 – 0,4ml/kg (im Fall einer lumbalen Injektion), bzw. 0,45ml/kg im Fall einer zervikalen Injektion (HECHT 2008). Der Kontrastmittelfluss kann nun entweder unter Durchleuchtung oder durch zeitnah angefertigte Röntgenbilder (innerhalb 3-5 Minuten post injectionem) verfolgt und ausgewertet werden (MAYRHOFER 2005; HECHT 2008).

Ein Vorteil der Myelographie ist die relativ kurze Anästhesiedauer, insbesondere, wenn eine Operation direkt im Anschluss erfolgen soll.

Nachteile der Myelographie sind zum einen die zweidimensionale Darstellung einer dreidimensionalen Struktur. Zum anderen kann mithilfe der Myelographie zwar eine Läsion, bzw. Einengung des Rückenmarks diagnostiziert werden. Eine weiterführende Auskunft über eventuelle Schäden der knöchernen und diskoligamentären Strukturen des betroffenen Bereiches liefert sie jedoch nicht. Ebenso kann mittels einer Myelographie keine Aussage bezüglich einer Hämorrhagie im Wirbelkanal, bzw. des Rückenmarks getroffen werden (KINNS et al. 2006). Prognostisch ist die Myelographie daher von geringerem Wert als die modernen Schnittbildverfahren.

Computertomographie:

Die Computertomographie (CT) ist in der Veterinärmedizin mittlerweile ein weit verbreitetes bildgebendes Verfahren.

Im Gegensatz zum konventionellen Röntgenbild liefert die Computertomographie als Schnittbildverfahren eine überlagerungsfreie Darstellung der untersuchten Körperregionen. Dies wird durch eine Zerlegung des untersuchten Volumens in einzelne, dünne, parallele, räumlich hintereinander liegende Schichten erreicht (Abb. 12) (BERRY et al. 2002). Die Messung sogenannter Schwächungswerte (Schwächung von Röntgenstrahlung innerhalb einer Körperschicht) erfolgt in verschiedenen Positionen. Dies geschieht durch eine bewegliche, in einer Kreisbahn

um den Patienten rotierenden Röhren-Detektoreinheit (GALANKSI und PROKOP 2007). Durch ein computergestütztes Rechenverfahren entsteht aus diesen Schwächungswerten ein überlagerungsfreies Graustufenbild der durchstrahlten Region (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER 1999).

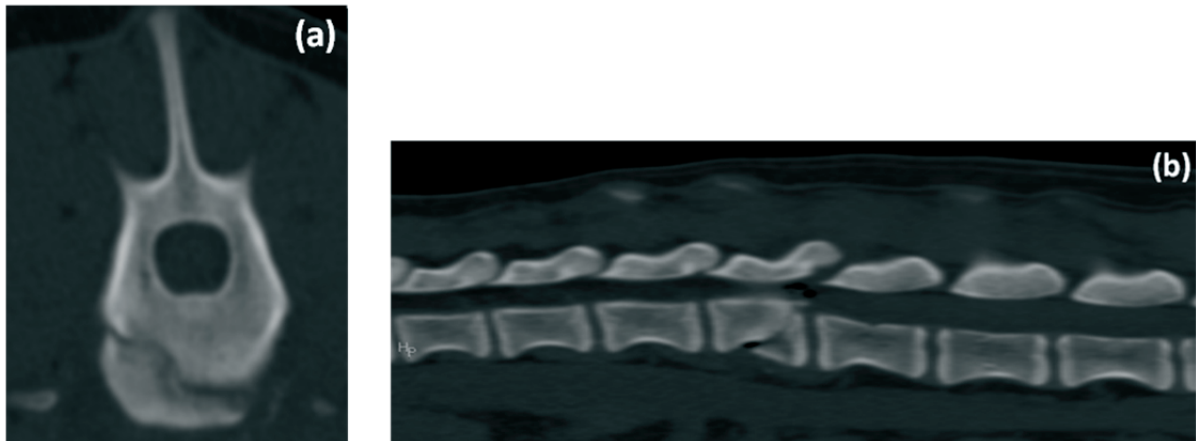


Abbildung 12: Computertomographie der Lendenwirbelsäule eines 2 Jahre alten männlichen Golden Retrievers, der neun Tage nach einem Sturz aus 2 Metern Höhe in der Justus-Liebig-Universität Gießen, Klinik für Kleintiere, Abteilung Chirurgie vorgestellt wird.

(a): Transversalschnitt im Knochenfenster über den 2. Lendenwirbel: der Corpus vertebrae zeigt eine Zusammenhangstrennung, die von latero-dorsal nach latero-ventral zieht (Querfraktur des Wirbelkörpers)

(b): Sagittalschnitt im Knochenfenster durch die Lendenwirbelsäule: die kaudale Endplatte des 2. Lendenwirbels zeigt eine geringgradige Subluxation nach kaudo-ventral sowie die schräg von kranio-ventral nach kaudo-dorsal verlaufende Frakturlinie.

Die Vorteile der Computertomographie im Vergleich zum konventionellen Röntgenbild sind unter anderem, dass eventuelle Knochenfragmente im Wirbelkanal, Frakturen der Facettengelenke oder intramedulläre Blutungen dargestellt werden können (TIDWELL et al. 1994). Anhand von Dichtemessungen können Aussagen über den Charakter der Läsion getroffen werden; durch eine anschließende 3D-Rekonstruktion (Abb. 13) kann zusätzlich die exakte Ausdehnung des Prozesses erfasst werden (JONES et al. 1994). Ein deutlicher Vorteil der CT gegenüber der Myelographie ist die hohe Sensitivität bezüglich ossären Läsionen, die nach GRIFFEN und Mitarbeitern bis zu 100% beträgt (GRIFFEN et al. 2003).

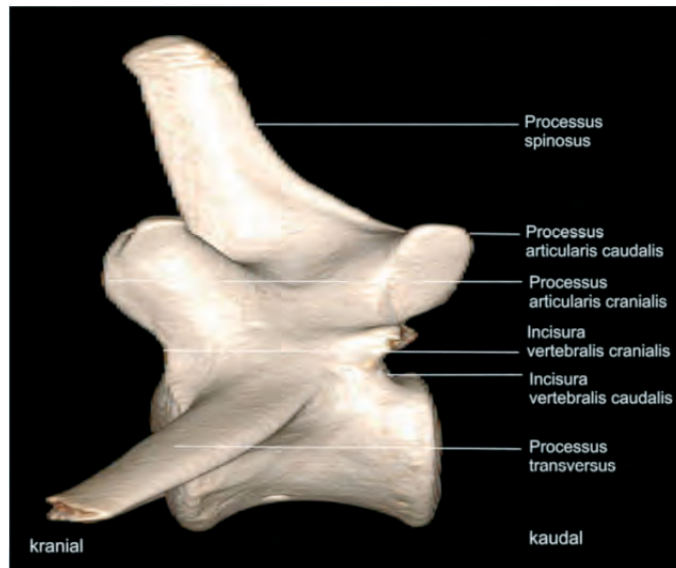


Abbildung 13: Computertomographische dreidimensionale Rekonstruktion eines gesunden Lendenwirbels eines Beagles; Ansicht von lateral

Magnetresonanztomographie:

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein weiteres Schnittbildverfahren, das in der Tiermedizin mittlerweile verbreitet Anwendung findet. Ebenso wie die Computertomographie werden in der MRT Schnittbilder der untersuchten Region angefertigt. Die physikalischen Grundlagen der beiden Techniken unterscheiden sich jedoch maßgeblich, so dass bei beiden Verfahren unterschiedliche Bildkontraste erzielt werden.

Die Magnetresonanztomographie nutzt das Prinzip der Energieübertragung mittels magnetischer Resonanz. Atomkerne mit einer ungeraden Anzahl an Protonen, die durch ihren Spin einen magnetischen Dipol ausbilden, werden in einem statischen Magnetfeld ausgerichtet und durch hochfrequente Radioimpulse ausgelenkt. Die hierbei entstehenden Veränderungen in den Magnetfeldern werden als Signale induktiv erfasst und computergesteuert zu einem Schnittbild der entsprechenden Körperregion umgerechnet (Abb. 14) (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER 1999).

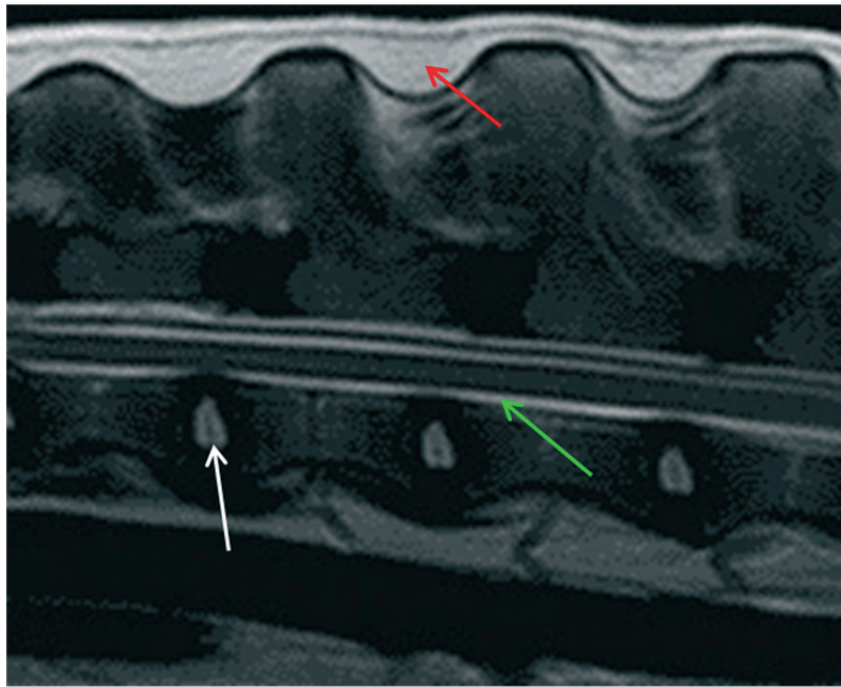


Abbildung 14: Magnetresonanztomographie: T2 gewichteter Sagittalschnitt durch die mittlere Lendenwirbelsäule eines 8 jährigen männlichen Deutschen Schäferhundes. Fett (roter Pfeil) und Flüssigkeit, wie der Liquor cerebrospinalis (grüner Pfeil) werden hell dargestellt. Die Lendenwirbelsäule zeigt einen tomographischen Normalbefund, einzig das sog. „nuclear cleft signal“ (weißer Pfeil) gibt einen Hinweis auf einen Flüssigkeitsverlust des Nucleus pulposus der Bandscheiben. Im vorliegenden Fall wurde dies als altersentsprechender Normbefund gewertet.

Vorteile der Magnetresonanztomographie sind eine präzise Darstellung des Rückenmarks und der Bandscheiben, so dass eventuelle intramedulläre Blutungen oder Ödeme erkannt und voneinander unterschieden und traumatische Bandscheibenvorfälle detektiert werden können (RUDIG et al. 1997).

Ein Nachteil der Magnetresonanztomographie ist der größere Zeit- und Kostenaufwand. Insbesondere die verlängerte Anästhesiedauer ist bei einer MRT Untersuchung ein limitierender Faktor, da ein traumatisch vorgeschädigtes Rückenmark durch die Minderperfusion unter einer Anästhesie noch weiteren Schaden nehmen kann und daher die Dauer einer Narkose so kurz wie möglich gehalten werden sollte. Für die Diagnostik von Wirbelfrakturen ist die Magnetresonanztomographie daher nicht zu empfehlen, zudem knöcherne Strukturen in der Computertomographie optimaler dargestellt werden können.

2.6 Therapie von Wirbelfrakturen und -luxationen

2.6.1 Humanmedizin

Nach BERCHTHOLD (2008) werden Patienten mit einer stabilen Brustwirbelsäulenfraktur nach kurzzeitiger stabiler Flachlagerung unter analgetischer Therapie mobilisiert (BERCHTHOLD und HAMELMANN 2008). Instabile Frakturen hingegen müssen chirurgisch versorgt werden. Gleiches gilt für Frakturen der Lendenwirbelsäule, wobei instabile Frakturen im sogenannten dorsalen Durchhang reponiert und in einem Gipsmieder (Prinzip der Dreipunkte Abstützung) retiniert werden. Nach RESCH und Mitarbeitern (2000) werden hauptsächlich Patienten mit Typ A Wirbelfrakturen konservativ therapiert. Von den konservativ behandelten Patienten zeigen 56% Typ A1-Frakturen (Impaktionsbrüche), 23% Typ A2-Frakturen (Spaltbrüche) und 20% Typ A3-Frakturen (Berstungsbrüche). Auch nach LEUCHT (2005) werden die Mehrheit von Impaktionsfrakturen (94,5%) konservativ versorgt. Sofern eine Wirbelfraktur als instabil eingestuft wird (i.d.R. Wirbelfrakturen vom Typ B oder C), sollte nach EGGERS et al. (1998) chirurgisch interveniert werden. Nach LEUCHT (2005) werden Distraktionsverletzungen der Wirbelsäule zu 84,2% chirurgisch versorgt, da diese Frakturen bei konservativer Therapie zu einer chronischen Instabilität neigen. Bei Typ C-Frakturen der Wirbelsäule ist zu 88,5% eine chirurgische Stabilisation vonnöten (LEUCHT 2005). Nach RESCH und Mitarbeitern (2000) werden 89% aller chirurgisch therapierten Wirbelfrakturen mittels winkelstabilem Implantat stabilisiert, wohingegen nur 11% mit einer transpedikulären Spongiosaplastik versorgt werden (RESCH et al. 2000).

2.6.2 Veterinärmedizin

Lumbosakrale Frakturen bei Hund und Katze können nach SMITH und WALTER (1985), WHEELER (1995), HAWTHORNE (1999) sowie KRAMER und Mitarbeitern (2001) konservativ therapiert werden, sofern sie nur chronisch instabil sind, also nicht unmittelbar zur Einengung des Wirbelkanals führen, sondern z.B. durch eine überschießende Kallusbildung eine Kompression des Rückenmarks bedingen (SHORES 1992; SHARP und WHEELER 2005). Ähnlich kann bei Frakturen im

Bereich Th 3 – Th 11 vorgegangen werden, da infolge der Stabilisierung durch die rippengestützte Brustwand und die dorsale Muskulatur häufig nur eine geringe Instabilität besteht (SHARP und WHEELER 2005). Das Hauptaugenmerk der konservativen Therapie liegt auf der strikten Ruhighaltung des Patienten für ca. sechs Wochen. Um eine vermehrte Bewegung auf dem betroffenen Wirbelsäulenabschnitt zu vermeiden, empfehlen PATTERSON und SMITH (1992) sowie McKEE (1998) zusätzlich das Anlegen einer gepolsterten Castschiene. Eine Analgesie ist laut SHARP und WHEELER (2005) nur in den ersten 96 Stunden nötig. Sollte der Patient nach Ablauf dieser Zeit noch immer schmerzhaft erscheinen oder sollten sich die neurologischen Defizite verschlechtern, muss eine eventuelle Umstellung der Therapie (chirurgische Intervention) diskutiert werden.

Die chirurgische Therapie einer Wirbelfraktur, bzw. -luxation hat nach STURGES und LeCOUTEUR (2002) drei Hauptziele:

Die Reduktion (1. Ziel) der Fraktur/Luxation bewirkt eine Dekompression (2. Ziel) des betroffenen Rückenmarksabschnittes. Die anschließende Stabilisation (3. Ziel) der Fraktur bzw. Luxation verhindert in der Rekonvaleszenz eine dynamische Kompression des Rückenmarks sowie eine überschießende Kallusbildung der betroffenen knöchernen Abschnitte (MCKEE 1998; SOMMER 1998; STURGES und LECOUTEUR 2003; CABASSU und MOISSONNIER 2004; SHARP und WHEELER 2005).

Die Entscheidung, welche chirurgische Technik zur Fixation von Wirbelfrakturen und -luxationen eingesetzt wird, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, wie z.B. der Lokalisation des Traumas, der Notwendigkeit einer eventuellen Hemilaminektomie oder auch von der Größe, bzw. dem Gewicht des Patienten (MCKEE 1998; KRAMER et al. 2001; TOOMBS und WATERS 2003).

CABASSU (2006) empfiehlt grundsätzlich eine Kombination aus zwei Fixationstechniken, da in zwei unterschiedlichen Ebenen eingebrachte Implantate die Stabilität deutlicher erhöhen, als die Summe der Stabilität, die diese Implantate einzeln eingebracht erzielen würden (SHIRES et al. 1991; WALDRON 1991).

Zur Osteosynthese von Wirbelfrakturen und Luxationen sind verschiedene Methoden beschrieben (BAGLEY 2000; WHEELER et al. 2007), wie z.B. das „Spinal Stapling“ (McANULTY 1986) oder das „Processus spinosus Plating“ (LEWIS et al. 1989). Im Folgenden werden jedoch nur diejenigen Operationstechniken genannt, bei denen

durch Implantation von Schrauben oder Nägeln in den Wirbelkörper eine iatrogene Verletzung des Rückenmarks die Folge sein könnte.

Fixateur externe:

Nach WALKER (2002), SHARP und WHEELER (2005) sowie CABASSU (2006) sind Fixateur externe grundsätzlich nur für Hunde bis 15 kg Körpergewicht und für Katzen zu empfehlen, da die Rotations- und Flexionskräfte, die auf die Implantate einwirken, bei Patienten mit höherem Körpergewicht zu stark sind und somit ein Implantatversagen drohen kann. Empfohlen werden von SHARP und WHEELER (2005) ausschließlich Fixateur externe vom Typ II, da deren Stabilität und Rigidität gegen Flexions- und Rotationskräfte der Wirbelsäule der des Fixateur Typ I deutlich überlegen ist (WALKER et al. 2002). Der Patient wird in Brust-Bauch-Lage gelagert und aseptisch vorbereitet. Der chirurgische Zugang zur Wirbelsäule entspricht dem der dorsalen Laminektomie und erstreckt sich über die gesamte Länge der betroffenen Wirbel und jeweils einen Wirbel kranial und kaudal der Fraktur/Luxation. Nach Darstellung der Verletzung wird die Fraktur/Luxation vorsichtig mittels Knochenfazzangen reponiert und im Anschluss werden von dorso-lateral Steinmann-Pins entsprechend der Größe des Patienten in den Wirbelkörper der gesunden Wirbel implantiert (Abb. 15) (SHARP und WHEELER 2005). Die Implantation der Pins sollte im Bereich der Wirbelmetaphyse erfolgen, da nach WHEELER und Mitarbeitern (2002) hier das meiste Knochengewebe zur Verfügung steht. Als Orientierungspunkte für die korrekte Pinimplantation empfehlen LANZ und Mitarbeiter (2000) die Procc. accessorii sowie die Querfortsätze der Wirbelkörper. Es erfolgt ein standardisierter Wundverschluss und zuletzt die Verbindung der Pins untereinander mittels Polymethylmethacrylat (PMMA).

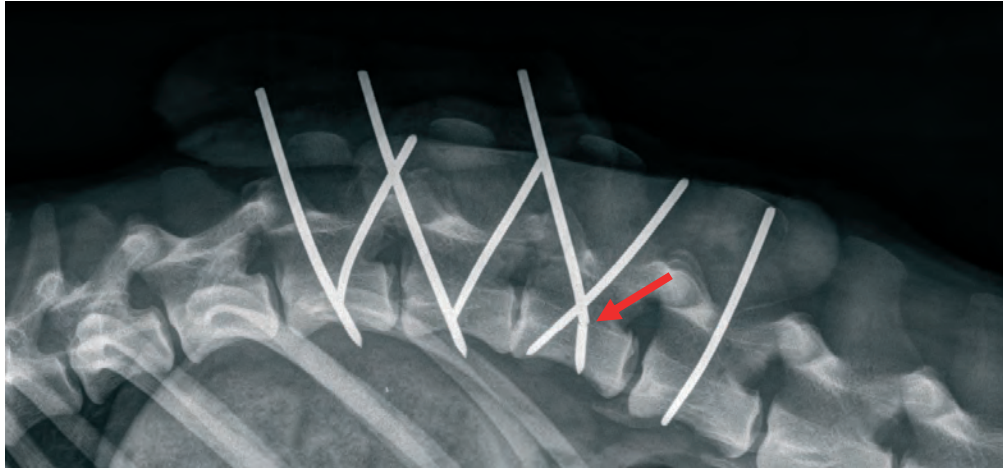


Abbildung 15: Röntgenbild der kaudalen Brust- und kranialen Lendenwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang eines 7 Jahre alten männlichen Pudels. Zustand 10 Tage nach chirurgischer Versorgung der Luxation mittels Fixateur externe. Die Pins wurden in die Wirbel Th 13 - L 3 eingebracht und extern mit PMMA fixiert. Einer der Pins in L 2 ist im distalen Anteil gebrochen (roter Pfeil).

Fixateur interne

Das sogenannte Cross-Pinning kann nach CABASSU (2006) bei kleinen Hunden und Katzen zur Versorgung von instabilen Wirbelfrakturen und -luxationen eingesetzt werden. Hierfür wird der Patient in Brust-Bauch-Lage gelagert, der chirurgische Zugang ist derselbe wie beim Fixateur externe.

Die Steinmann-Pins entsprechender Größe werden beidseits der Fraktur/Luxation eingebracht und überqueren in ihrer ganzen Länge den betroffenen Bereich. Die Nägel kranial der Läsion zeigen dabei nach kaudoverstral, diejenigen kaudal der Läsion nach kranioventral. In der Lateralansicht würden die Pins sich also auf Höhe der Fraktur, bzw. der Luxation kreuzen (Abb. 16). Im Anschluss werden die Pinenden auf ca. 3mm gekürzt und in PMMA eingebettet. Es erfolgt ein standardisierter Wundverschluss, wobei häufig auf eine Naht der Faszia verzichtet werden muss, da diese aufgrund des relativ großen Volumens des PMMA nicht mehr adaptiert werden kann (DENNY 1991; JEFFREY 1995; CABASSU und MOISSONNIER 2005).

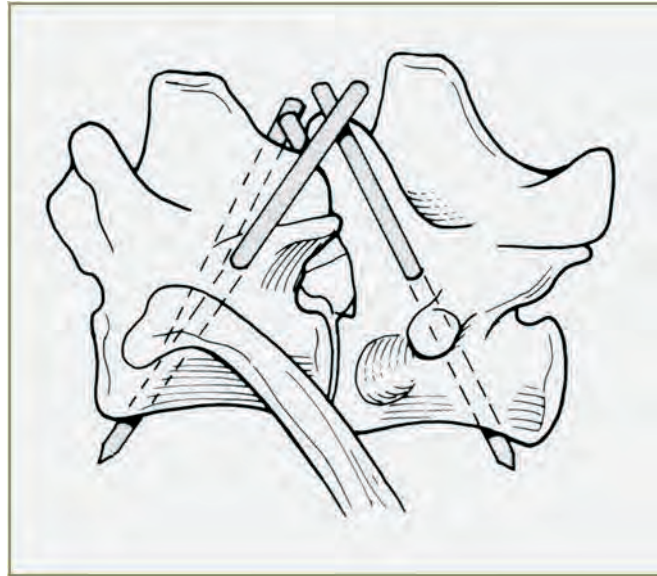


Abbildung 16: Schematische Darstellung des sog. Cross Pinning im Bereich der Brustwirbelsäule nach WHEELER. Die Pinenden werden im Anschluss auf ca. 3mm gekürzt und in PMMA eingebettet, um eine Implantatwanderung zu verhindern.

LAUTERSACK und KRAMER (2000) beschreiben den Fixateur interne zur Fixation einer Instabilität des 5. und 6. Halswirbels nach Ventral Slot-Operation bei einem Rottweiler; für die Stabilisierung mittels Steinmann-Pins und PMMA wurde in diesem Fall ein ventraler Zugang gewählt (LAUTERSACK und KRAMER 2000).

Pins, bzw. Schrauben und PMMA:

ROUSE (1975) und BLASS (1984) beschreiben als erste Autoren die Implantation von Steinmann Pins und PMMA zur Stabilisation von Wirbelfrakturen und -luxationen. Gewindesteinschrauben werden bei dieser Technik bevorzugt, da als mögliche Komplikation die Migration der Implantate beschrieben ist. Alternativ können statt der Steinmann-Pins Schrauben verwendet werden (ROUSE 1975; BLASS und SEIM 1984; JEFFREY 1995; BEAVER et al. 1996).

Der chirurgische Zugang entspricht dem einer dorsalen Laminektomie. Nach Präparation der Muskulatur werden die Pins, bzw. Schrauben von lateral in Richtung ventral in die gesunden, angrenzenden Wirbel eingebracht und ihre Enden mittels PMMA verbunden (Abb. 17). Auch hier empfehlen WHEELER und Mitarbeiter (2002) eine Implantation im Bereich der Wirbelkörpermetaphyse, da in diesem Bereich am meisten Knochengewebe zur Verfügung steht.

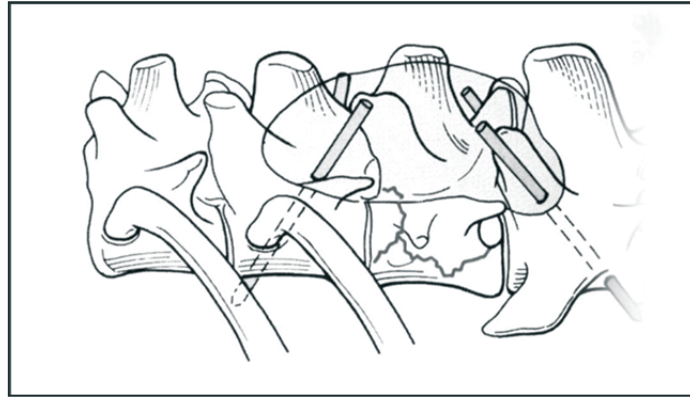


Abbildung 17: graphische Darstellung der chirurgischen Versorgung einer Wirbelfraktur (a) mittels Steinmann-Pins und PMMA nach WHEELER.

CABASSU et al. beschreiben 2007 die chirurgische Versorgung einer pathologischen Fraktur aufgrund einer hämatogenen Osteomyelitis bei Th 11 bei einem Hund mittels Schrauben und antibiotisch imprägniertem Knochenzement.

Einen ventralen Zugang wählen GUIOT und ALLMAN (2011) für die Versorgung einer Kompressionsfraktur an Th 5 bei einem Zwergschnauzer. Die Autoren wählen einen ventralen Zugang, da aufgrund mehrerer Bisswunden im Brustkorb des Patienten in derselben Operation eine Sternotomie erfolgen musste. Die Frakturversorgung erfolgte in diesem Fall mittels Steinmann-Pins und PMMA (GUIOT und ALLMAN 2011).

Plattenosteosynthese (vertebral body plates) am Beispiel der Verriegelungsplatte:

Für die chirurgische Versorgung einer Wirbelfraktur/-luxation wird der Patient in Seitenlage gelagert, wobei McKEE (1998) für den Rechtshänder eine Lagerung auf die rechte Körperseite empfiehlt. Nach SWAIM (1971) können Platten in dieser Region relativ einfach angebracht werden; für große Hunde wird eine bilaterale Verplattung empfohlen. Als Orientierungspunkte werden von CABASSU (2007) die Facettengelenke und die Transversalfortsätze empfohlen.

Verriegelungssysteme sind für die Humanmedizin entwickelt worden, um pathologische Frakturen (z.B. verursacht durch eine Osteoporose oder einen Knochentumor) zu stabilisieren, da in einem solch vorgeschädigten Knochen Implantate nur mangelhaften Halt finden. Für konventionelle Plattensysteme gilt, dass die Implantatsicherheit hauptsächlich von der Reibung zwischen Schraube und Knochen, bzw. Schraube und Platte abhängt. Diese Reibung wird erzeugt durch den Zug der Schrauben, der die Platte auf die Knochenoberfläche presst (NESS 2009).

Im Verriegelungssystem besitzen sowohl die Schraubenköpfe als auch die Löcher der Implantate ein Gewinde. Somit fungieren die eingebrachten Schrauben mechanisch als Freiträger oder Kragarme, was bedeutet, dass keine Notwendigkeit mehr besteht, eine stabilisierende Reibung zwischen Knochen und Implantat zu erzeugen. Die Platten liegen beim Verriegelungsimplantat der Knochenoberfläche nicht mehr an (sie „schweben“ über dem Knochen), was den Vorteil hat, dass die periostale Blutversorgung gewährleistet bleibt (Abb. 20). Im Gegensatz zum konventionellen Implantat ist daher bereits die monokortikale Implantation der Schrauben als sichere Implantation anzusehen (Abb. 20) (NESS 2009).



Abbildung 18: String of Pearls – Verriegelungsimplantat, das speziell für die Veterinärmedizin entwickelt wurde. Das Implantat kann in jeder Ebene an die Knochenkontur angepasst werden. Die eingebrachten Schrauben fungieren als winkelstabile Implantate, wodurch eine monokortikale Implantation bereits den sicheren Sitz des Implantates im Knochen gewährleistet

Die SOP-Platte („String of Pearls“-Platte) ist ein speziell für die Veterinärmedizin entwickeltes Verriegelungsimplantat (Abb. 18) und findet auch in der Versorgung von Instabilitäten der Wirbelsäule mittlerweile Anwendung (McKEE und DOWNES 2008). Neben der Stabilisation von Atlantoaxialen Subluxationen (DICKOMEIT et al. 2011) oder Stabilisierungen der Halswirbelsäule aufgrund einer Spondylomyelopathie (BERGMAN et al. 2008) sind auch Frakturversorgungen der Brust- und Lendenwirbelsäule möglich (Abb. 19 und 20).

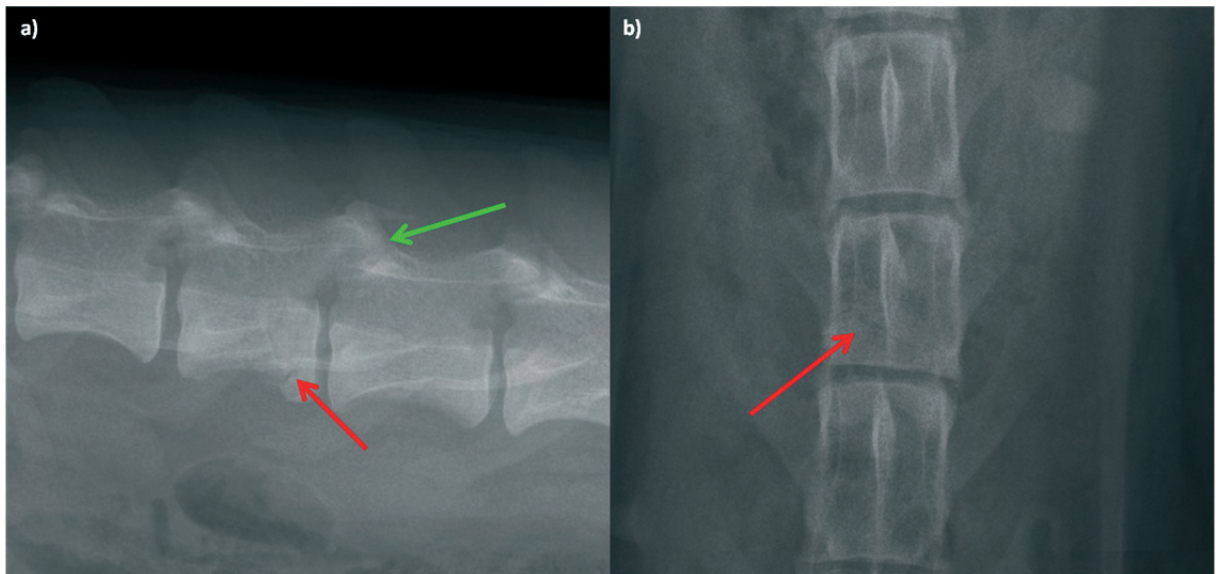


Abbildung 19: a) Röntgenbild der kranialen Lendenwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang einer 1,5 Jahre alten Dobermann Hündin nach Autounfall. Der dritte Lendenwirbel zeigt kranial der kaudalen Endplatte eine Aufhellungslinie, die von ventral nach dorsal zieht (roter Pfeil). Das Facettengelenk L 3 - 4 ist nicht klar abgrenzbar; dorsal des Proc. articularis caudalis von L 3 liegt ein dreieckiges, knöchernes Fragment (grüner Pfeil). b): Röntgenbild desselben Hundes im dorso-ventralen Strahlengang: der 3. Lendenwirbel zeigt links-lateral eine Verkürzung des Wirbelkörpers sowie eine schräg von lateral nach kaudal verlaufende Aufhellungslinie (roter Pfeil). Es besteht eine Schrägfraktur des 3. Lendenwirbels mit Beteiligung des Facettengelenkes.

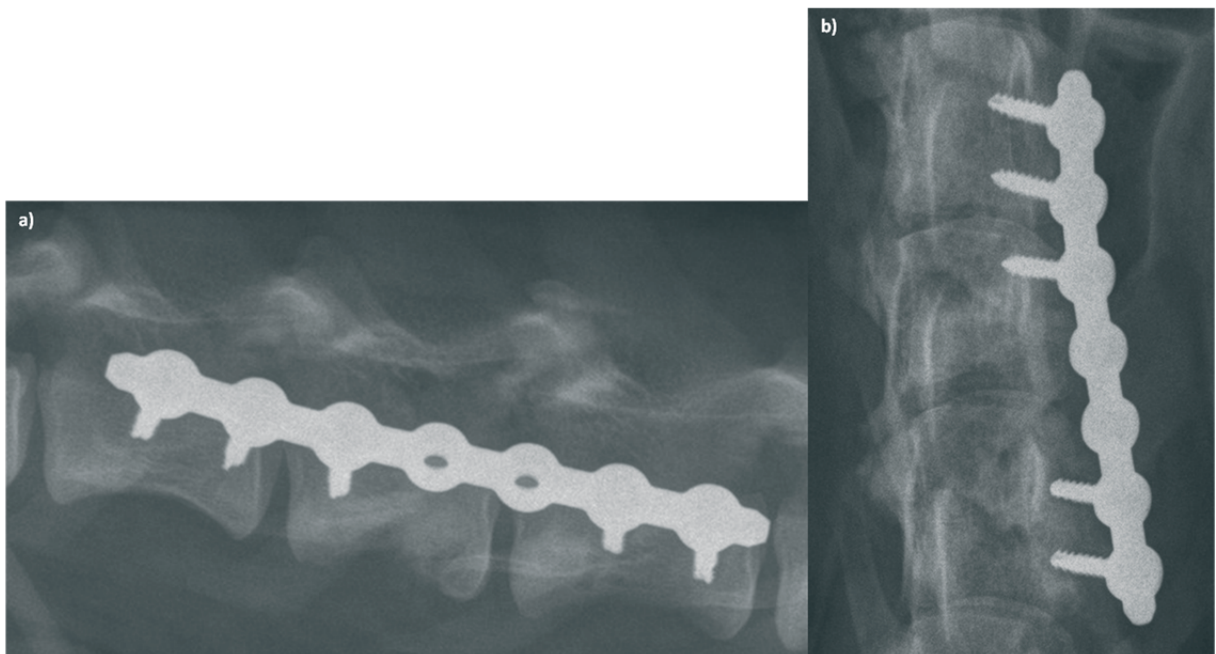


Abbildung 20: a) Röntgenbild der kranialen Lendenwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang desselben Hundes (Abb. 19) nach chirurgischer Versorgung mittels einer 8-Loch SOP-Platte. Die beiden Schraubenlöcher über der Fraktur wurden ausgespart. b) Röntgenbild im dorso-ventralen Strahlengang; die SOP-Platte wurde rechts über den Wirbelkörpern L 2 - 4 angebracht und liegt den Wirbelkörpern nicht direkt an.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass alle oben beschriebenen Operationstechniken eine sehr präzise Implantation der Pins oder Schrauben erfordern. Eine fehlerhafte Implantation kann aufgrund der Nähe von großen Gefäßen zum ventralen Wirbelkörper (Aorta, V. azygos) sowie aufgrund der Nähe des Wirbelkanals zum Implantat fatale Folgen haben (LUDDERS et al. 1998).

Eine chirurgische Versorgung mittels Pedikelschrauben, wie in der Humanmedizin üblich, ist bei Hund und Katze nicht möglich, da die Pedikel nicht genügend Knochengewebe für eine Schraubenimplantation bieten. Ein Größenvergleich zwischen einem menschlichen Lendenwirbel sowie jeweils einem Lendenwirbel von Hund, bzw. Katze ist der Abbildung 21 zu entnehmen.

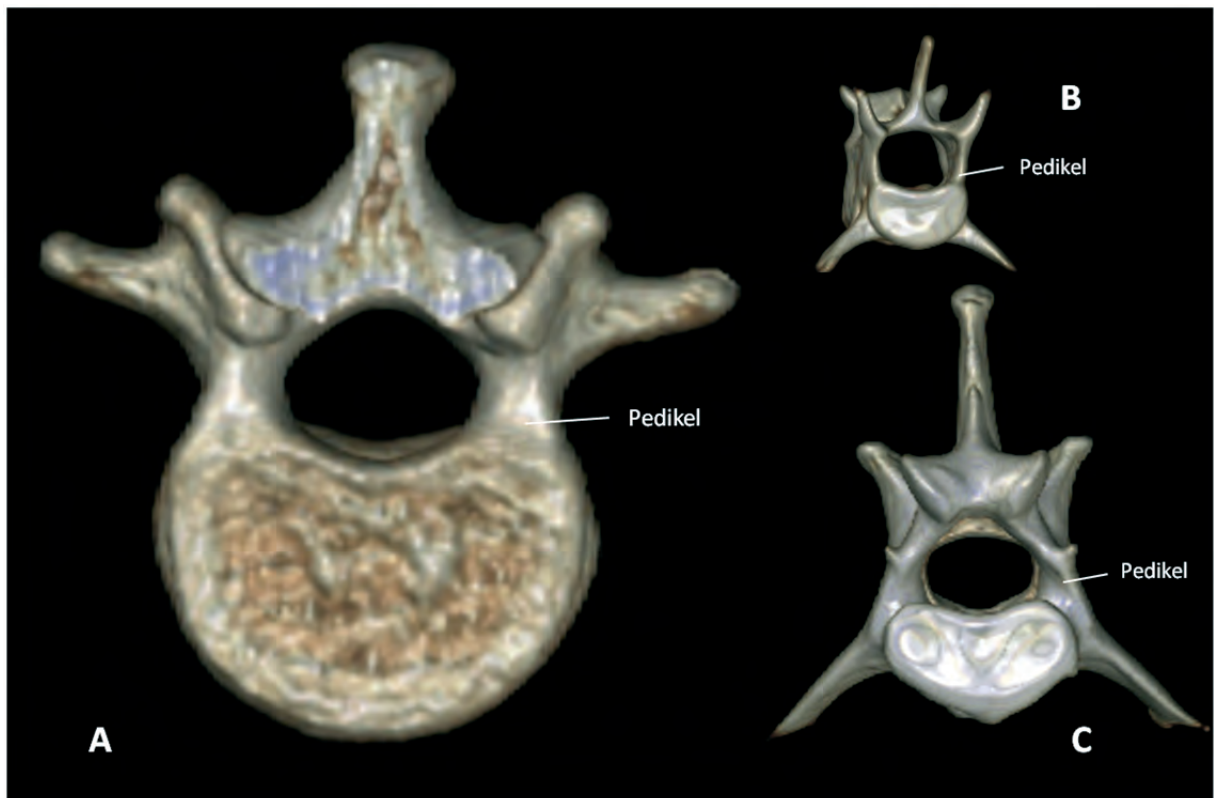


Abbildung 21: Die Lendenwirbel von Mensch, Katze und Hund im Vergleich. (A): menschlicher Lendenwirbel, Ansicht von kaudal, die Pedikel bieten genügend Knochenstock zur Implantation von Schrauben. (B): Lendenwirbel einer Europäisch Kurzhaarkatze, (C): Lendenwirbel eines Beagles. Bei Hund und Katze bieten die Pedikel nicht genügend Knochengewebe für eine Implantation von Schrauben.

3 Eigene Untersuchungen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu evaluieren ob für Hund und Katze eine Empfehlung über einen optimalen (sicheren) Implantationswinkel bei der chirurgischen Versorgung von Wirbelfrakturen und -luxationen der Brust- bzw. Lendenwirbelsäule gegeben werden kann. Hierfür besteht eine eindeutige klinische Relevanz, da Fehlimplantationen zu Läsionen des Rückenmarks, der Lunge oder großen Gefäßen führen können. Eine Implantation wurde als sicher definiert, wenn eine iatrogene Läsion der oben beschriebenen Strukturen durch das Implantat ausgeschlossen ist. Ein weiteres Kriterium ist der sichere Sitz des Implantates im Knochen, so dass ein Ausbrechen (z.B. aufgrund vermehrter Flexionskräfte bei Bewegung) verhindert wird. In der vorliegenden Untersuchung wurden eine großwüchsige Hunderasse (Deutscher Schäferhund), eine achondroplastische Hunderasse (Rauhaardackel) und die Europäisch Kurzhaarkatze miteinander verglichen.

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Patientengruppen

Insgesamt wurden computertomographische Untersuchungen der Wirbelsäule von 77 Patienten retrospektiv ausgewertet. Das Patientengut bestand aus drei Gruppen: 27 Rauhaardackel (RHD), 25 Deutschen Schäferhunde (DSH) und 25 Europäisch Kurzhaarkatzen (EKH). Es wurden nur adulte Tiere (> 12 Monate) in die Studie mit einbezogen. Die Deutschen Schäferhunde und Rauhaardackel wurden im Zeitraum von 2006 – 2010 in der Klinik für Kleintiere Chirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Untersuchung einer Paraparese unterschiedlichen Grades vorgestellt. Von den Europäisch Kurzhaarkatzen wurden 9 Patienten ebenfalls in diesem Zeitraum zur neurologischen Untersuchung vorgestellt, die restlichen Katzen wurden im Zeitraum von 2010 – 2011 einer post mortem CT- Untersuchung der Wirbelsäule

unterzogen. Die verstorbenen, bzw. euthanasierten Patienten der Gruppe EKH wurden hinzugezogen, um ein ausgeglichenes Zahlenverhältnis zwischen den drei Gruppen zu gewährleisten.

Ausschlaggebend für die Einbeziehung in die Studie war eine unversehrte Wirbelsäule der Patienten (s. Abschnitt 3.1.3 Ausschlusskriterien) sowie ein komplette vorhandener Scan der Wirbelsäule von Th1 – L7.

Das Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Tieren war bei den Rauhaardackeln ausgeglichen (13 weibliche Tiere, 14 männliche Tiere). Bei den Deutschen Schäferhunden lag ein deutlich höherer Anteil der männlichen Tiere vor (18 männlich, 7 weiblich), ebenso bei den Europäisch Kurzhaarkatzen mit 10 weiblichen und 15 männlichen Patienten. In Abb. 22 ist die Geschlechterverteilung innerhalb der drei untersuchten Gruppen graphisch dargestellt, Abbildung 23 gibt die Gewichtsverteilung der einzelnen Patientengruppen wieder.

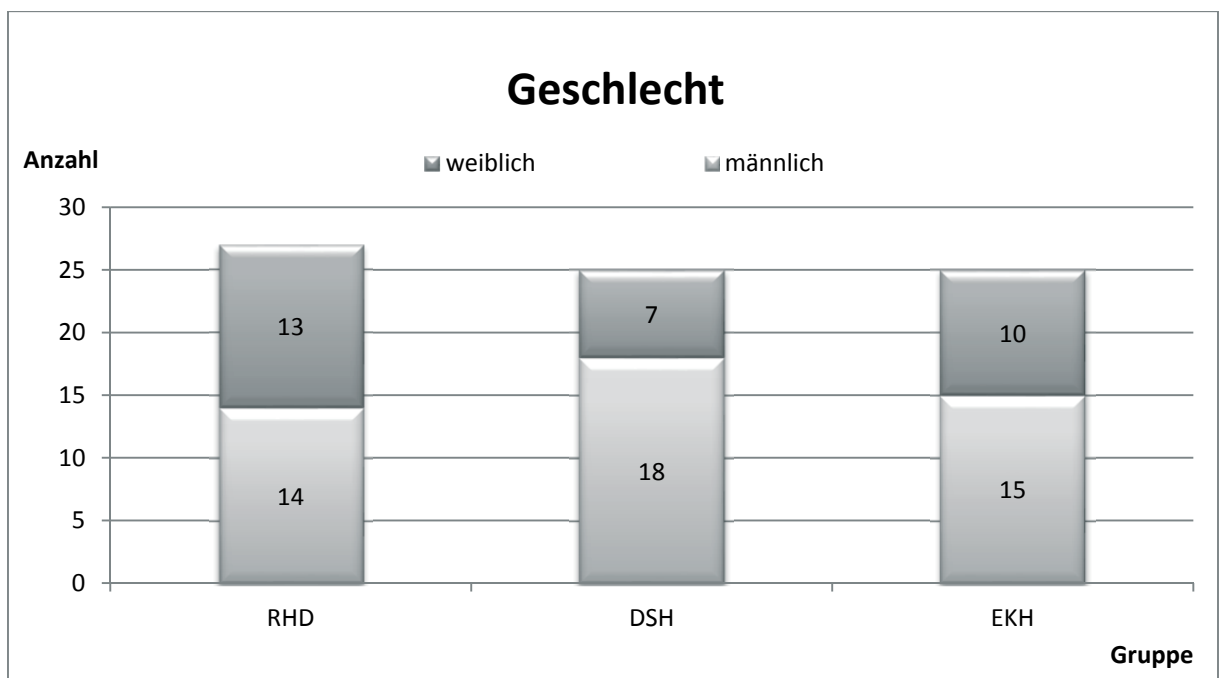


Abbildung 22: Balkendiagramm zur Darstellung der Geschlechterverteilung der untersuchten Tiere

y-Achse: Anzahl der Tiere

x-Achse: Patientengruppen

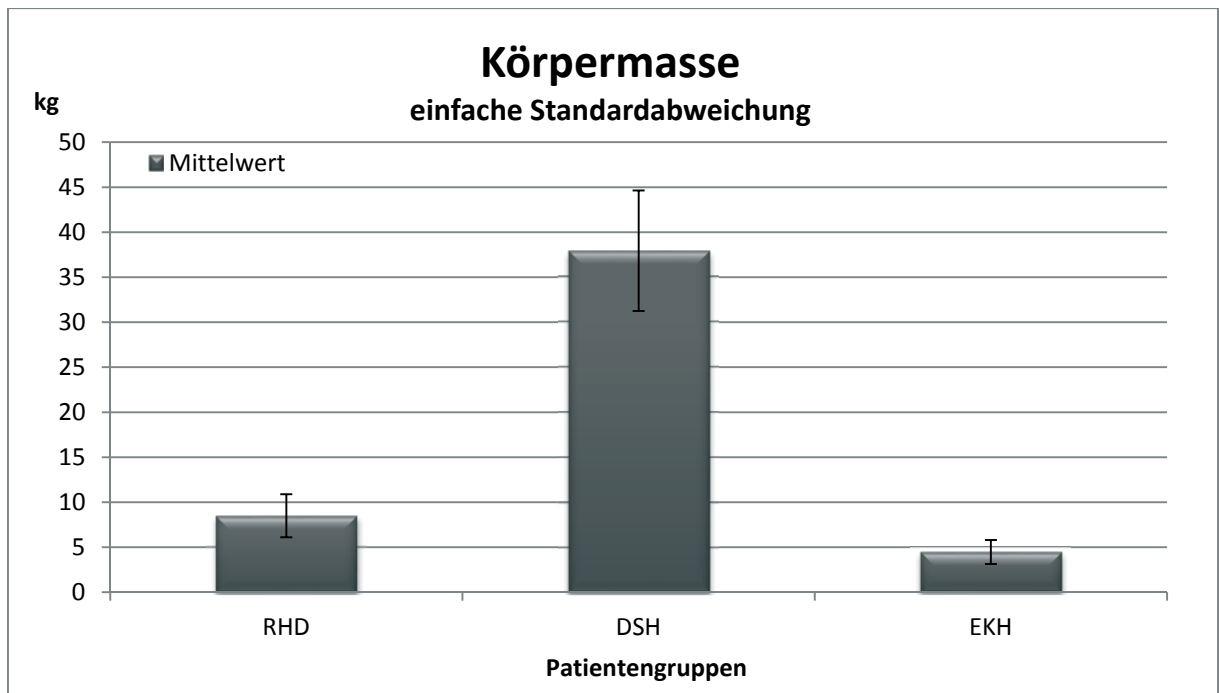


Abbildung 23: Balkendiagramm zur Darstellung der Gewichtsverteilung der untersuchten Tiere

y-Achse: Körpergewicht in Kilogramm (kg)

x-Achse: Patientengruppen

I = Konfidenzintervall

3.1.2 Auswahl der Patienten

Grundlage für die Auswahl der beiden Hunderassen Deutscher Schäferhund und Rauhaardackel war die Tatsache, dass sich die Entwicklung des knöchernen Skeletts bei achondroplastischen Rassen deutlich von derjenigen der großwüchsigen Rassen unterscheidet (BRAUND et al. 1975). Die Knochenentwicklung der Wirbel verläuft in zwei Schritten (perichondrale und enchondrale Ossifikation) und wird als indirekte Ossifikation (*Osteogenesis cartilaginea*) bezeichnet. Während der indirekten Knochenentwicklung wird ein knorpelig vorgegebenes Primordialskelett durch Knochengewebe ersetzt (BUDRAS 2004). Bei den sog. achondroplastischen Rassen (wie dem Rauhaardackel, Zwergpudel, Beagle, Pekinese, etc.) (ALMLÖF 1961; BRAUND et al. 1975) kommt es zu einer frühzeitigen Beendigung der enchondralen Ossifikation. Hierdurch wird das Wachstum derjenigen Skelettanteile gehemmt, die der enchondralen Ossifikation unterliegen (lange Röhrenknochen, Wirbelkörper) und es resultiert ein Zwergwuchs (ALMLÖF 1961).

Eine Fragestellung der Studie war daher, ob sich die Diameter einzelner Wirbel im Vergleich zwischen großwüchsigen und achondroplastischem Hund nicht nur in Relation zueinander unterscheiden, sondern auch in absoluten Zahlen.

Die Europäische Kurzhaarkatze wird in der allgemeinen Praxis von allen Katzenrassen am häufigsten vorgestellt. Die speziesspezifischen Unterschiede zwischen Hund und Katze sollten in dieser Studie ebenfalls erfasst werden.

3.1.3 Ausschlusskriterien

Zu den Ausschlusskriterien dieser Studie zählten alle Erkrankungen der knöchernen Wirbelsäule, die eine computertomographische Vermessung der Diameter unmöglich gemacht hätten. Hierzu zählten angeborene Missbildungen der Wirbelsäule (Abb. 24), Knochentumoren der Wirbelsäule, Spondylosis deformans Grad III, multifokale Diskospondylitiden sowie Frakturen und Luxationen der Wirbelsäule.

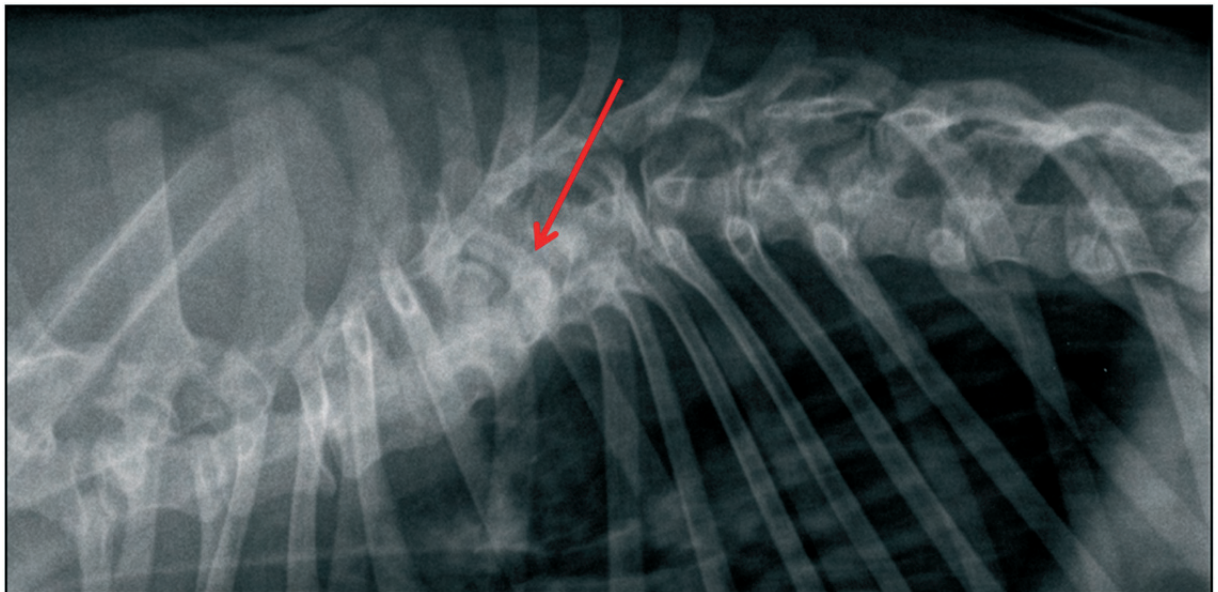


Abbildung 24: Röntgenbild im latero-lateralen Strahlengang der Brustwirbelsäule eines 4 Monate alten Dingo Rüden. Beispiel für eine angeborene Missbildung der Wirbelsäule: Keilwirbelbildung im Bereich Th 4 – 9 (roter Pfeil)

3.1.4 Vorbereitung der Patienten

Bei den Tieren, die zur neurologischen Untersuchung in der Klinik für Kleintiere Chirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen vorgestellt wurden, erfolgte eine allgemein-klinische Untersuchung zur Feststellung der Narkosefähigkeit. Von Patienten, die das fünfte Lebensjahr überschritten hatten, wurde ein Blutbild mit Blutchemie angefertigt.

Die Anästhesie der Hunde erfolgte mit L-Methadon 0,5mg/kg KGW i.v. (L-Polamivet ®, Intervet) und Diazepam 0,1mg/kg KGW i.v. (Diazepam ratiopharm ®). Bis zur Intubation erhielten die Hunde Propofol 4mg/kg KGW i.v. (Propoflo Vet ®). Die Anästhesie der Katzen erfolgte mit einer Mischspritze Medetomidin 0,08mg/kg KGW und Ketamin 5mg/kg KGW intramuskulär. Für die Narkoseerhaltung bis zur Intubation wurde Diazepam 0,1mg/kg KGW (Diazepam ratiopharm ®) i.v. verabreicht. Nach erfolgter endotrachealer Intubation wurde die Anästhesie mit einem Isofloran Sauerstoffgemisch aufrecht erhalten. Es erfolgte eine kontrollierte Beatmung nach endexpiratorischer Kohlendioxidkonzentration und eine Überwachung der Anästhesie mittels Kapnographie, Pulsoximetrie und EKG.

Die Patienten wurden für die Computertomographie in Brust-Bauch-Lage mit nach kranial gestreckten Vordergliedmaßen gelagert. Bei den Deutschen Schäferhunden erfolgte zusätzlich eine Stabilisation mittels seitlich der Brustwand angelegten Schaumstoffkissen zur Gewährleistung einer symmetrischen Positionierung.

3.1.5 Computertomographische Untersuchung

Die computertomographischen Untersuchungen erfolgten mit dem Brilliance 16 Slice Computertomographen der Firma Philips (Abb. 25). Gescannt wurde die komplette Brust- und Lendenwirbelsäule der Patienten, die Schichtdicke betrug 0,8mm.



Abbildung 25: Computertomograph der Klinik für Kleintiere Chirurgie Justus-Liebig-Universität Gießen.

3.1.6 Messung der Wirbeldiameter und Winkel

Alle Messungen wurden an einer Philips Workstation durch die Autorin vorgenommen. Die Messungen erfolgten entlang der Wirbelsäule von kranial nach kaudal im Knochenfenster. Jeder Wirbel wurde an drei Lokalisationen gemessen (im Folgenden Lokalisation A, B und C).

3.1.6.1 Definition der Lokalisationen

Die Messungen der Wirbeldiameter wurden an jedem Wirbel an drei Lokalisationen vorgenommen. Die erste Lokalisation (Lok A) lag kaudal der kranialen Endplatte, Lokalisation B in der Mitte des Wirbelkörpers und Lokalisation C kranial der kaudalen Endplatte des zu vermessenden Wirbels (Abb. 26).

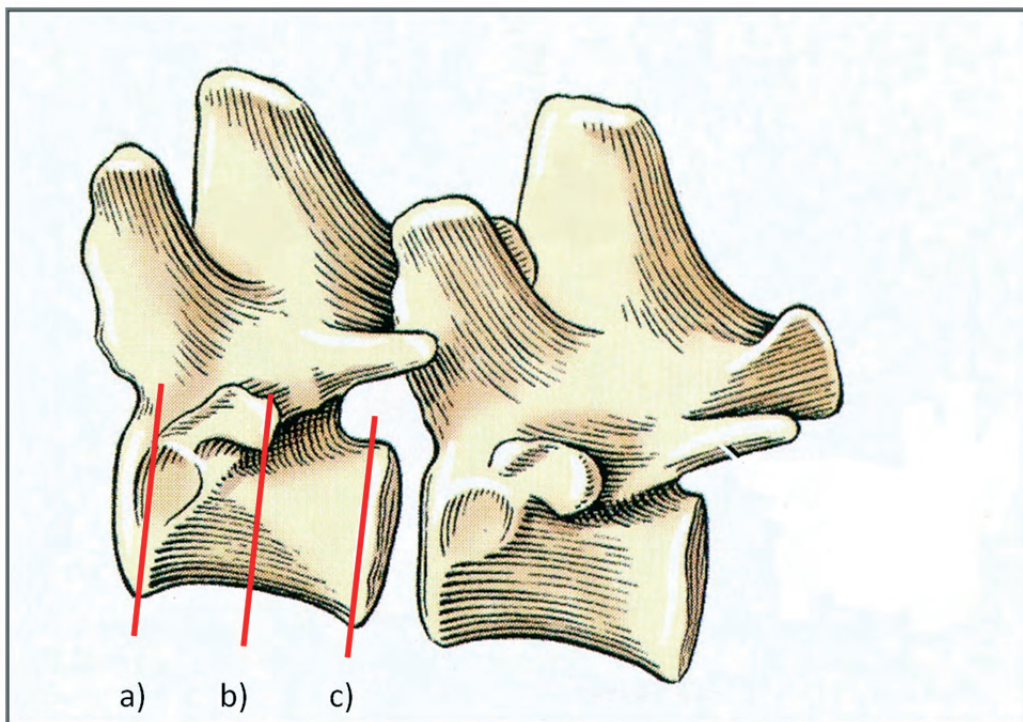


Abbildung 26: Die drei Lokalisationen, an denen der Implantationswinkel gemessen wurde, schematisch dargestellt am anatomischen Präparat der Brustwirbel 12 und 13 eines Hundes (modifiziert nach WHEELER). Die roten Linien markieren jeweils die transversale Schnittebene, in der gemessen wurde:

- (a) Lokalisation A: kaudal der kranialen Endplatte
- (b) Lokalisation B: Mitte des Wirbelkörpers
- (c) Lokalisation C: kranial der kaudalen Endplatte

Lokalisation A

Der erste Schnitt, in dem die Wirbel vermessen wurden, lag kaudal der kranialen Endplatte des jeweiligen Wirbelkörpers und wurde definiert als derjenige Schnitt, in dem computertomographisch kein Bandscheibensignal mehr vorhanden war, sondern Knochendichte.

Hierfür wurde der Wirbel im Transversalschnitt aufgestellt und die zu messende Ebene im Sagittalschnitt parallel zur Endplatte ausgerichtet (Abb. 26; Abb. 27).

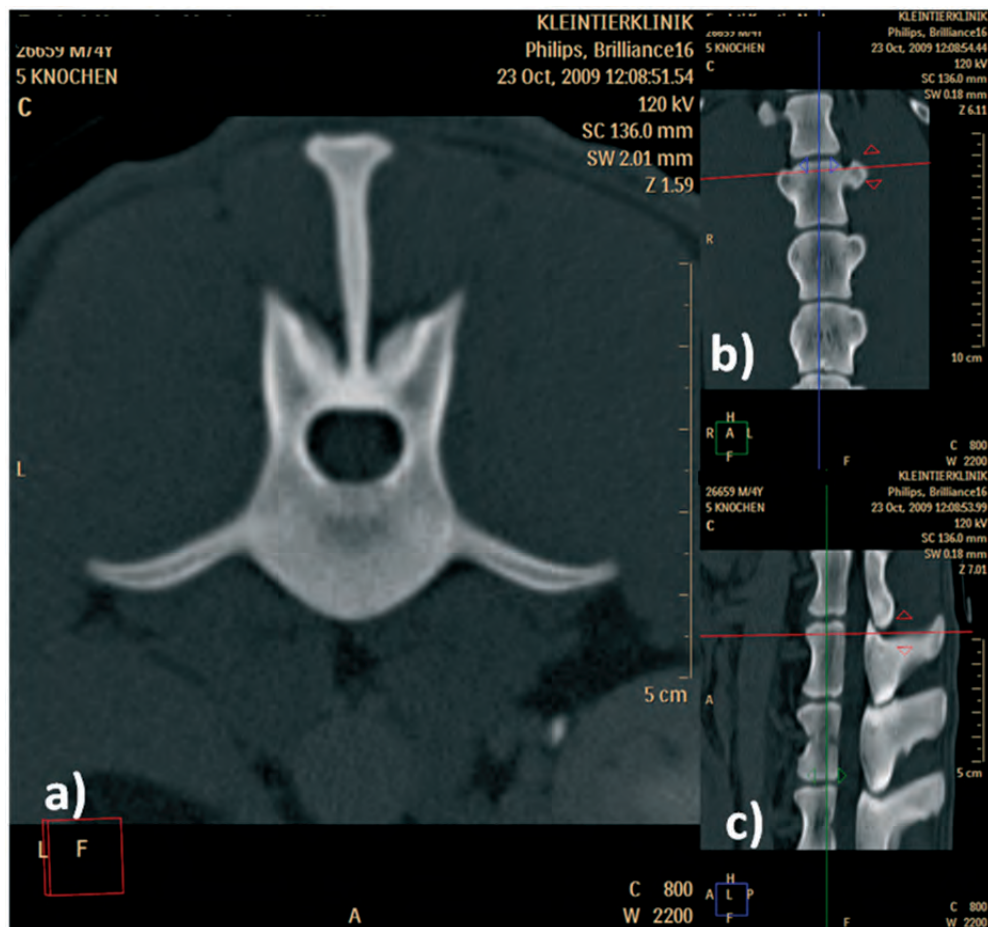


Abbildung 27: Einstellung des Wirbels zur Bestimmung von Lokalisation A am Beispiel des 2. Lendenwirbels eines männlichen Deutschen Schäferhundes:

- a) Transversalschnitt durch den 2. Lendenwirbel im Knochenfenster an Lokalisation A
- b) Dorsalebene des 2. Lendenwirbels; die rote Linie markiert die Schnittebene des Transversalbildes an Lokalisation A. Die blaue Linie entspricht der in Abb. c) dargestellten Sagittalebene
- c) Sagittalschnitt durch die Wirbelsäule, die rote Linie markiert wiederum die Schnittebene, in der gemessen wird, während die grüne Linie die Dorsalebene (b) darstellt

Lokalisation B

Lokalisation B wurde definiert als die Mitte des Wirbelkörpers. Für die Bestimmung von Lokalisation B wurde im Sagittalschnitt eine Gerade über den Dorsalrand des Wirbels gelegt, um die Länge des zu untersuchenden Wirbels zu messen (Abb. 26; Abb. 28). Der Punkt auf der Hälfte dieser Geraden wurde als Mitte des Wirbelkörpers definiert und im Transversalschnitt ausgerichtet.

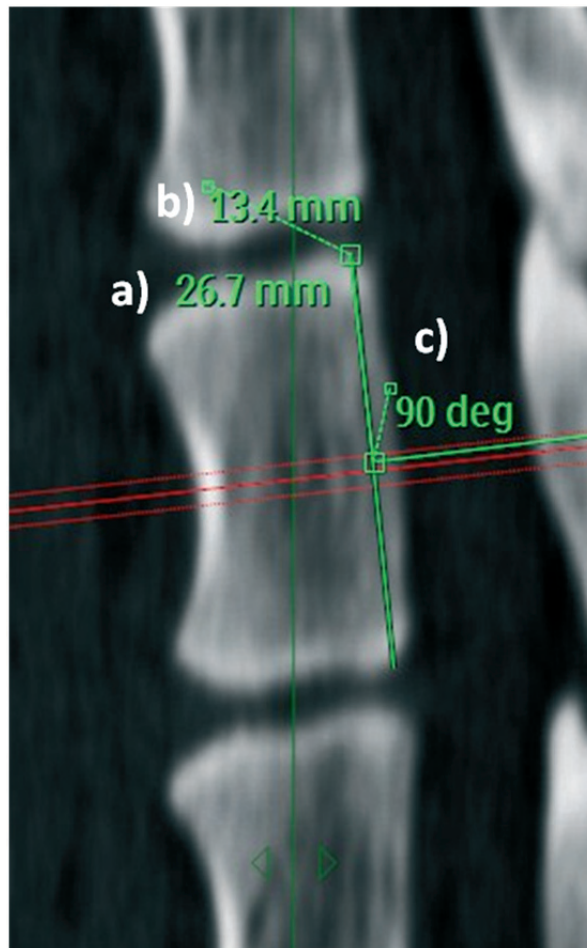


Abbildung 28: Sagittalschnitt im Knochenfenster: computertomographische Vermessung des 4. Lendenwirbels eines Deutschen Schäferhundes zur Bestimmung der Wirbelkörpermitte (Lokalisation B).

Die Länge des Wirbelkörpers ($a = 26,7\text{mm}$) wird halbiert ($b = 13,4\text{mm}$). Der 90° Winkel über der Schnittebene (c) gibt im Transversalschnitt den Messpunkt für die Lokalisation B vor.

Lokalisation C

Der dritte Schnitt, in dem die Wirbel vermessen wurden, lag kranial der kaudalen Endplatte und wurde festgelegt als derjenige Schnitt, in dem noch Knochendichte und kein Bandscheibensignal gemessen werden konnte. Ebenso wie bei Lokalisation A wurde dieser Schnitt parallel zur Endplatte ausgerichtet (Abb. 26; Abb. 29).

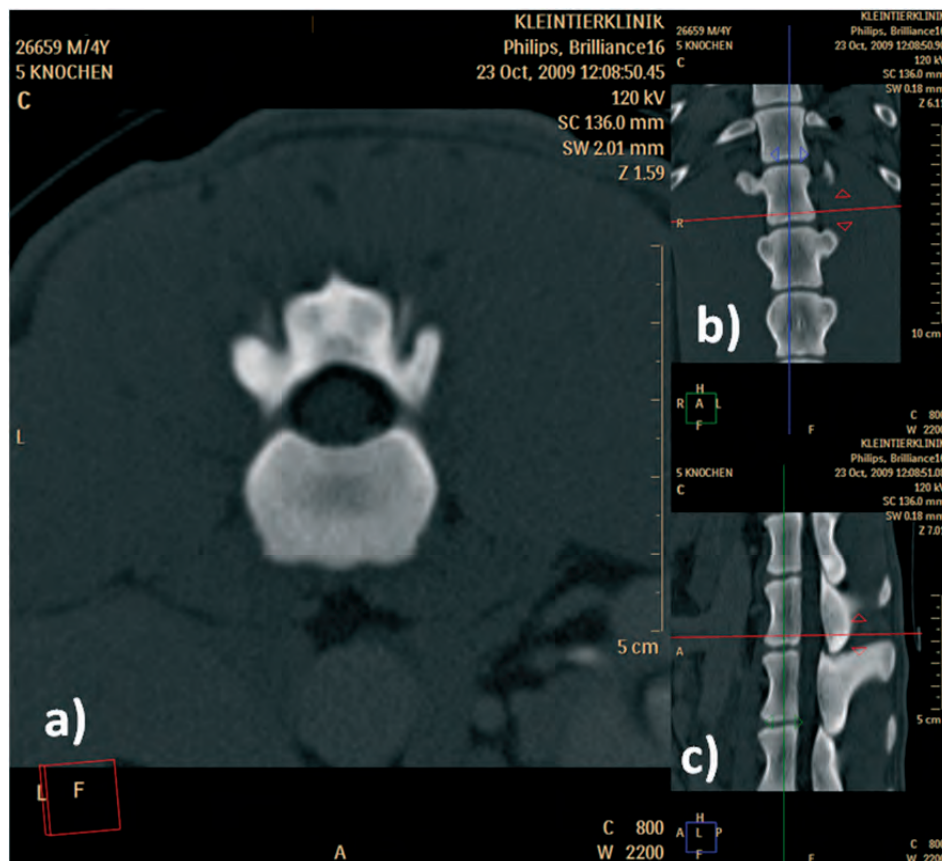


Abbildung 29: Einstellung des Wirbels zur Bestimmung von Lokalisation C am Beispiel des 2. Lendenwirbels eines männlichen Deutschen Schäferhundes:

- a) Transversalschnitt durch den 2. Lendenwirbel im Knochenfenster an Lokalisation C
- b) Dorsalebene des 2. Lendenwirbels; die rote Linie markiert die Schnittebene des Transversalbildes an Lokalisation C. Die blaue Linie entspricht der in Abb. c) dargestellten Sagittalebene
- c) Sagittalschnitt durch die Wirbelsäule, die rote Linie markiert wiederum die Schnittebene, in der gemessen wird, während die grüne Linie die Dorsalebene (b) darstellt

3.1.6.2 Auswahl der Lokalisationen

Die Messung an den oben beschriebenen Lokalisationen ist der Tatsache geschuldet, dass die Wirbelkörper von Hund und Katze eine (in unterschiedlicher Ausprägung vorhandene) sog. Sanduhrform aufweisen (Abb. 30). Daher bestand die Annahme, dass sich die Implantationswinkel nicht nur innerhalb der verschiedenen Wirbelsäulenabschnitte, sondern auch innerhalb eines einzelnen Wirbels unterscheiden können.

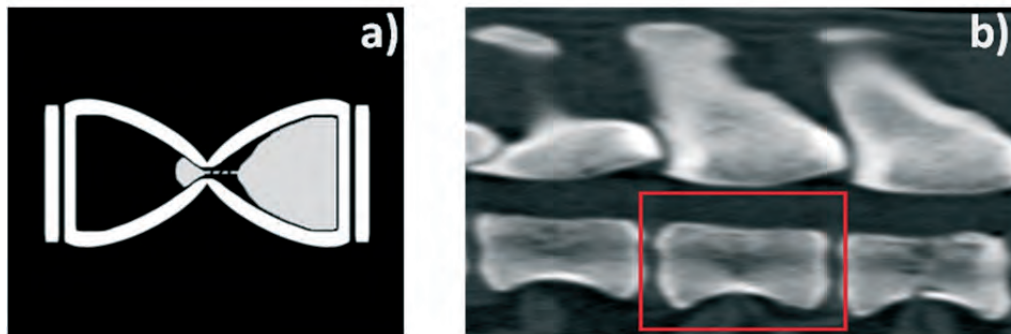


Abbildung 30: a) schematische Darstellung einer liegenden Sanduhr; b) Sagittalschnitt durch die Lendenwirbelsäule eines Deutschen Schäferhundes. Der sanduhrförmige Lendenwirbelkörper ist rot markiert.

3.1.6.3 Anlegen des Rasters

Um für die Messungen im Transversalschnitt eine größtmögliche Symmetrie der zu untersuchenden Region zu gewährleisten, wurde vor jeder Messung ein Raster (Abb. 31) über die entsprechende Lokalisation gelegt (Rastergröße 2 x 2mm).

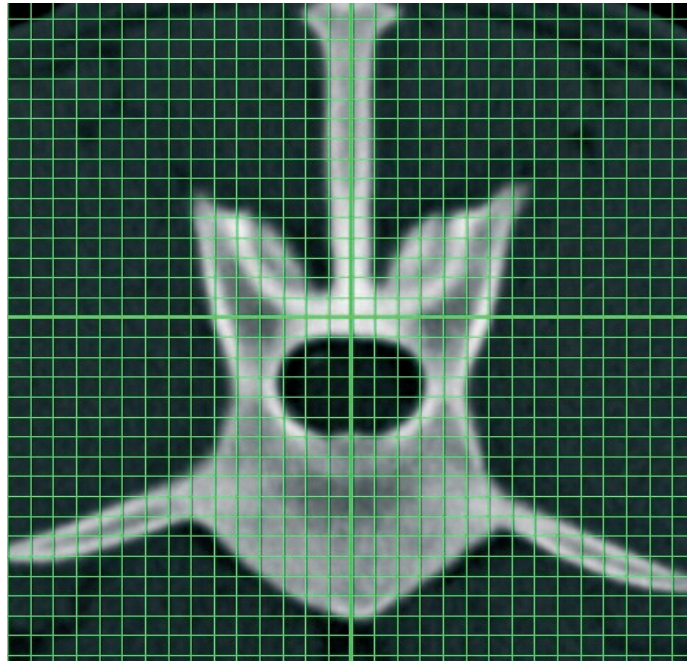


Abbildung 31: Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 4. Lendenwirbel eines Deutschen Schäferhundes. Das aufgelegte Raster dient der Gewährleistung der notwendigen Symmetrie. Die Rastergröße beträgt 2 x 2mm.

3.1.6.4 Messung der Durchmesser von Wirbelkanal und Wirbelkörper

An allen drei Lokalisationen wurden zunächst folgende Werte gemessen: der ventrodorsale Durchmesser des Wirbelkanals (im Folgenden WkaD) (Abb. 32 A) und der ventrodorsale Durchmesser des Wirbelkörpers (WköD) (Abb. 32 B).

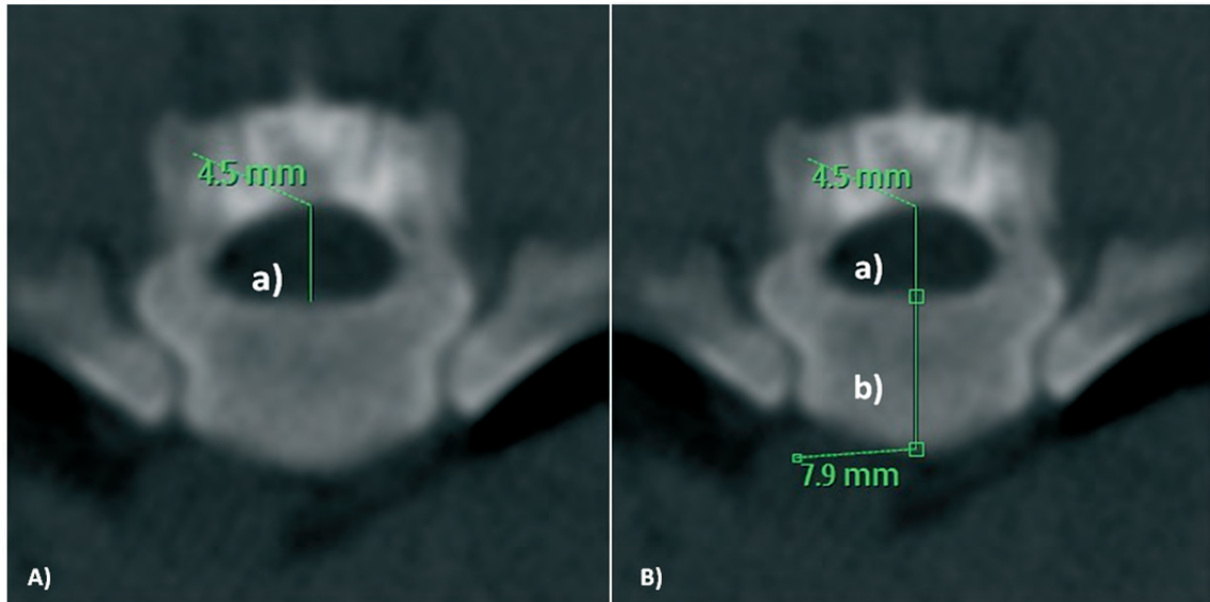


Abbildung 32: Vermessung von Wirbelkörperdurchmesser und Wirbelkanaldurchmesser

A) Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 11. Brustwirbel eines Rauhaardackels

(a) WkaD = 4,5mm

B) Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 11. Brustwirbel eines Rauhaardackels

(a) WkaD = 4,5mm

(b) WköD = 7,9mm

Das zuvor angelegte Raster (s. Abb. 31) wurde in den beiden Abbildungen entfernt, um eine bessere Übersicht zu ermöglichen.

3.1.6.5 Ausschluss der Cristae dorsalis und ventralis

Im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule von Hund und Katze treten die Cristae ventralis und dorsalis in unterschiedlichem Ausmaß hervor (Abb. 33), so dass bei Einbeziehung der Cristae eine Verfälschung der Messwerte des Wirbelkörpers auftrat.

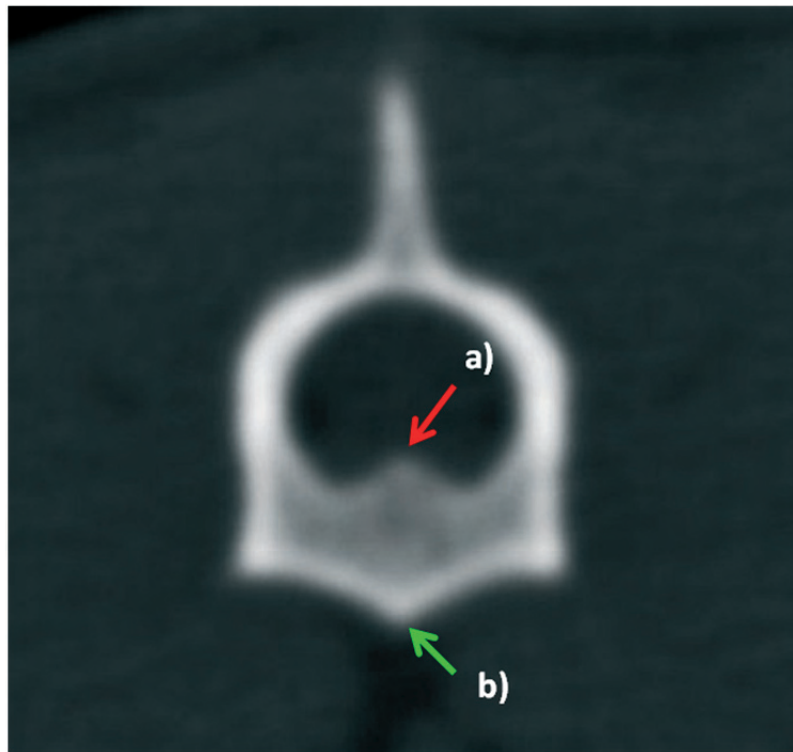


Abbildung 33: Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 3. Lendenwirbel einer Europäischen Kurzhaarkatze.

- (a) roter Pfeil: Crista dorsalis
- (b) grüner Pfeil: Crista ventralis

Um eine Verfälschung der Messwerte zu vermeiden, wurde im Fall einer prominenten Crista ventralis, bzw. dorsalis (definiert als größer als 0,5mm) eine Gerade gezogen zwischen den Punkten a und a' sowie b und b' (Abb. 34 A). Diese Punkte wurden definiert als Beginn (Austrittspunkt) der Crista ventralis, bzw. dorsalis. Der jeweilige Messpunkt für den WkÖD lag nun auf dieser Geraden (Abb. 34 B).

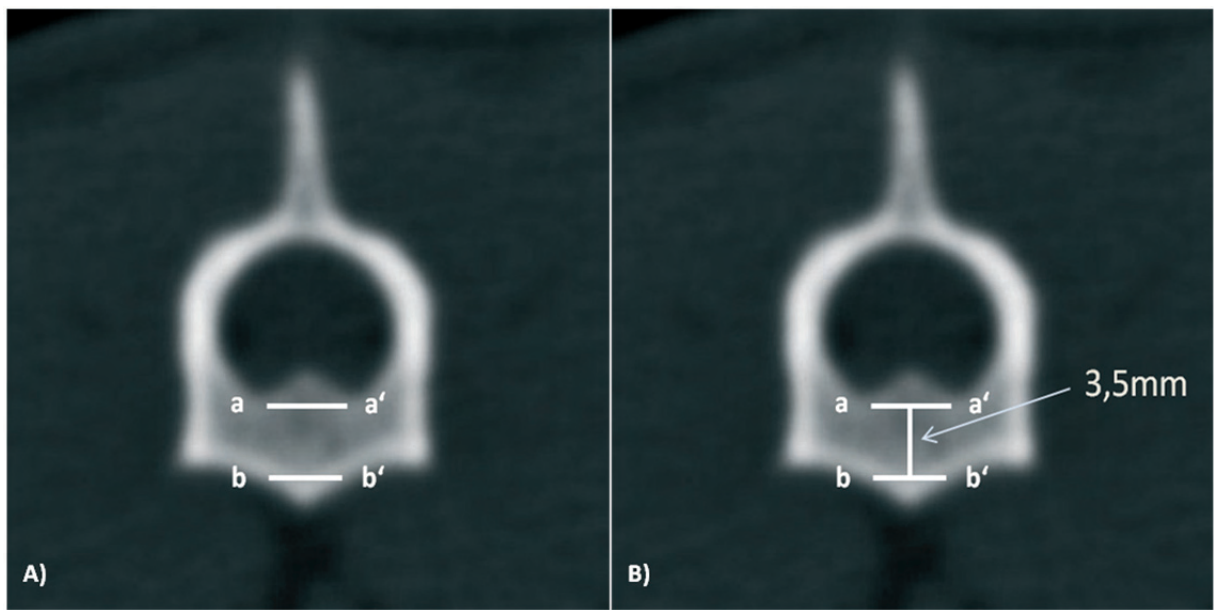


Abbildung 34: Ausschluss der Cristae dorsalis und ventralis

A) Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 3. Lendenwirbel einer Europäisch Kurzhaarkatze.

1. Verbindung der Punkte a und a': auf dieser Linie liegt der dorsale Messpunkt zur Ermittlung des WkaD und WkÖD
2. Verbindung der Punkte b und b': auf dieser Linie liegt der ventrale Messpunkt zur Ermittlung des WkÖD

B) Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 3. Lendenwirbel einer Europäisch Kurzhaarkatze.

Messung des WkÖD unter Ausschluss der Crista ventralis und dorsalis. Der WkÖD beträgt 3,5mm.

3.1.6.6 Messung des zu ermittelnden Winkels

Um den zu ermittelnden Winkel zu bestimmen, wurde die Hälfte des ventrodorsalen Durchmessers des Wirbelkörpers als Mittelpunkt des Wirbelkörpers bestimmt. An dieser Stelle wurde, ausgehend von der Senkrechten durch den Wirbelkörper, ein Winkelmaß angelegt und der Winkel gemessen. Dieser Winkel des Implantates sollte so angelegt sein, dass ober- und unterhalb eines eingebrachten Implantates gleich viel Knochengewebe vorhanden ist. Hierfür wurde durch den schmalsten Punkt des Pedikels eine Gerade gezogen. Durch den Mittelpunkt dieser Gerade sollte die angelegte Winkel-Gerade verlaufen (Abb. 35 A und B).

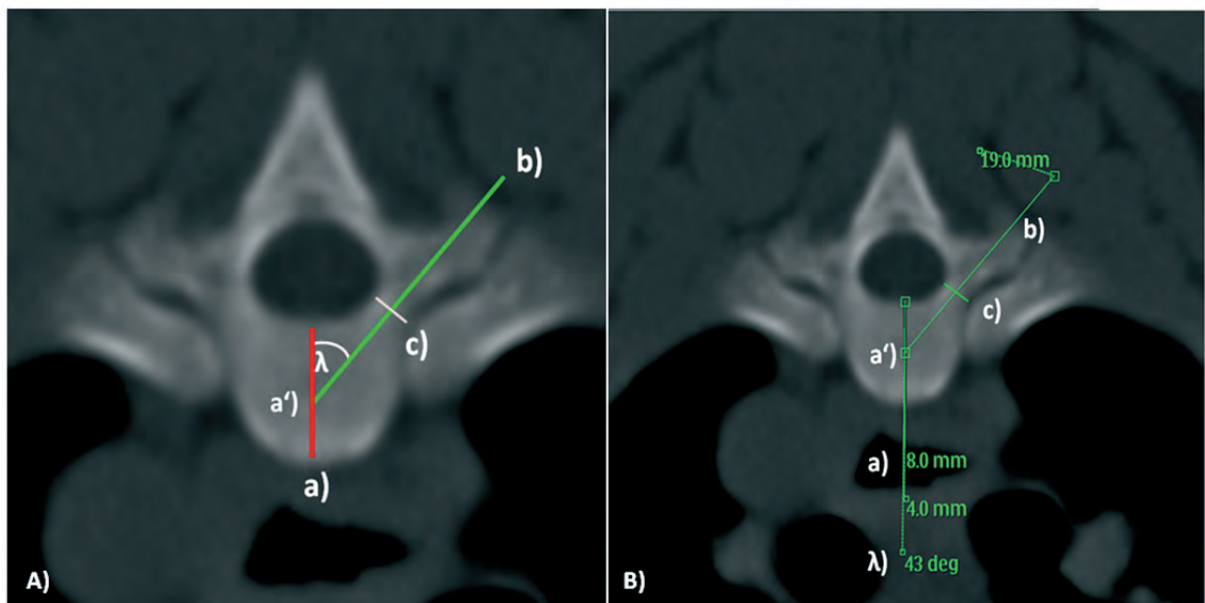


Abbildung 35: Darstellung der Messungen (ohne Raster)

A) schematische Darstellung der Winkelmessung am Beispiel eines Brustwirbels einer Rauhaardackelhündin:

- a) ventrodorsaler Durchmesser des Wirbelkörpers
- a') Mittelpunkt des ventrodorsalen Durchmessers des Wirbelkörpers
- b) eingezeichnete Winkel-Gerade, die durch den Mittelpunkt des ventrodorsalen Durchmessers verläuft
- c) Gerade durch den schmalsten Punkt des Pedikels, durch deren Mittelpunkt die Winkel-Gerade verläuft
- λ) zu messender Winkel

B) Screenshot der Winkelmessung am Beispiel eines Brustwirbels einer Rauhaardackelhündin:

- a) ventrodorsaler Durchmesser des Wirbelkörpers (8mm)
- a') Mittelpunkt des ventrodorsalen Durchmessers des Wirbelkörpers
- b) eingezeichnete Winkel-Gerade, die durch den Mittelpunkt des ventrodorsalen Durchmessers verläuft
- c) Gerade durch den schmalsten Punkt des Pedikels, durch deren Mittelpunkt die Winkel-Gerade verläuft
- λ) der gemessene Winkel beträgt 43°

Das vor der Messung angelegte Raster (s. Abb. 31) ist aus Gründen der Übersicht entfernt worden.

3.1.7 Statistische Auswertung

Die Datenhaltung und –auswertung erfolgte im lokalen Rechnernetz (LAN) der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die statistischen Auswertungen wurden unter Verwendung des Statistikprogrammpakets BMDP/Dynamic, Release 7.0, (DIXON 1993) durchgeführt.

Zur Beschreibung der Daten wurden arithmetische Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (s), Minima (x_{\min}) und Maxima (x_{\max}) berechnet und tabellarisch wiedergegeben. Die arithmetischen Mittelwerte (\bar{x}) der Messreihen wurden einer Varianzanalyse unterzogen. Sofern die Nullhypothese der Gleichheit der Mittelwerte verworfen werden kann, ist von einem nicht rein zufällig bedingten Unterschied der Mittelwerte auszugehen. Somit kann ein Teil der Gesamtvarianz durch die Gruppenbildung erklärt werden und es wurde ein für den Unterschied verantwortlicher Faktor identifiziert (BOHLEY 2000).

In der Varianzanalyse wurden die Mittelwerte der optimalen Winkel der Brust- und Lendenwirbelsäule untersucht. Diese stellen die veränderliche Variable dar (Tab. 2). Hierbei wurde untersucht, ob ein Einfluss der Faktoren ‚Wirbel‘, ‚Lokalisation‘ und ‚Patientengruppe‘ auf diese veränderliche Variable besteht (Tab. 2).

Bei der Bewertung der statistischen Signifikanzen in der Varianzanalyse wurde das Signifikanzniveau $1 - \alpha$ (α = Irrtumswahrscheinlichkeit) = 0,95 zugrunde gelegt, d.h. Ergebnisse mit $p \leq 0,05$ wurden als statistisch signifikant angesehen.

Für die Mittelwerte (\bar{x}) aus den Messreihen wurden Konfidenzintervalle zum Niveau 95% angegeben. Der wahre Mittelwert (μ) ist demnach mit einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit innerhalb der angegebenen Grenzen zu erwarten. Sofern sich die Konfidenzintervalle verschiedener Mittelwerte nicht überdecken, wird dies als ein signifikanter Unterschied gewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Multifaktorielle Varianzanalyse

Die Ergebnisse der globalen dreifaktoriellen Varianzanalyse zeigen, dass sowohl die Patientengruppe als auch die Lokalisation und die Wirbel jeweils signifikante Faktoren für die Ausprägung des optimalen Winkels darstellen (Tab. 2). Weiterhin weisen die Faktoren ‚Patientengruppe‘, ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ signifikante zweifache und dreifache Wechselwirkungen auf (Tab. 2).

In der zweifaktoriellen Varianzanalyse wurden die Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ in den einzelnen Patientengruppen hinsichtlich ihrer signifikanten Einwirkung auf den optimalen Winkel untersucht. Die Ergebnisse zeigen - ähnlich der globalen Varianzanalyse - Signifikanzen bezüglich des Faktors ‚Wirbel‘ als auch bezüglich des Faktors ‚Lokalisation‘ (Tab. 3; Tab. 4; Tab. 5).

Im Folgenden werden die Haupteffekte der dreifaktoriellen Varianzanalyse und der zweifaktoriellen Varianzanalyse dargestellt (s. Kapitel 4.2).

Im Anschluss werden die Wechselwirkungen der Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse der einzelnen Patientengruppen erläutert.

Ergebnisse zur dreifaktoriellen Varianzanalyse			
Variable	Haupteffekte (p-Wert)		
	PG (RHD, DSH, EKH)	Wirbel (Th 1-13 / L 1-7)	Lok (A,B,C)
opt. Winkel BWS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
opt. Winkel LWS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Variable	Zweifachwechselwirkung (p-Wert)		
	PG / Wirbel	PG / Lok	Lok / Wirbel
opt. Winkel BWS	< 0,0001	0,0064	< 0,0001
opt. Winkel LWS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Variable	Dreifachwechselwirkung (p-Wert)		
	PG / Lok / Wirbel		
opt. Winkel BWS	< 0,0001		
opt. Winkel LWS	< 0,0001		

Tabelle 2: Ergebnisse zur dreifaktoriellen Varianzanalyse. In der linken Spalte sind die Variablen (optimale Implantationswinkel der Brust- und Lendenwirbelsäule) dargestellt. In den rechten Spalten des ersten Blockes sind die Haupteffekte (Patientengruppe, Wirbel, Lokalisation) mit den jeweiligen p-Werten dargestellt.

In Block 2 sind zu den Variablen die Zweifachwechselwirkungen (Gruppe und Wirbel, Gruppe und Lokalisation, Lokalisation und Wirbel) dargestellt. Im 3. Block werden den Variablen die p-Werte der Dreifachwechselwirkungen gegenübergestellt.

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

PG = Patientengruppen

RHD = Rauhaardackel

DSH = Deutscher Schäferhund

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

opt. = optimal

Lok = Lokalisation

RHD - Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse			
Variable	Haupteffekte (p-Wert)		Wechselwirkung (p-Wert)
	Wirbel (Th 1-13/L 1-7)	Lok (A, B, C)	Lok/Wirbel
opt. Winkel BWS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
opt. Winkel LWS	0,008	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 3: Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse für den Rauhaardackel. In der linken Spalte sind die Variablen (optimale Implantationswinkel der Brust- und Lendenwirbelsäule) dargestellt. In der mittleren Spalte sind die Haupteffekte (Wirbel und Lokalisation) mit den jeweiligen p-Werten dargestellt. In der rechten Spalte ist die Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ dargestellt.

RHD = Rauhaardackel

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

opt. = optimal

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

DSH - Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse			
Variable	Haupteffekte (p-Wert)		Wechselwirkung (p-Wert)
	Wirbel (Th 1-13/L 1-7)	Lok (A,B,C)	Lok/Wirbel
opt. Winkel BWS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
opt. Winkel LWS	0,1032	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 4: Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse für den Deutschen Schäferhund. In der linken Spalte sind die Variablen (optimale Implantationswinkel der Brust- und Lendenwirbelsäule) dargestellt. In der mittleren Spalte sind die Haupteffekte (Wirbel und Lokalisation) mit den jeweiligen p-Werten dargestellt. In der rechten Spalte ist die Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ dargestellt.

DSH = Deutscher Schäferhund

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

opt. = optimal

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

EKH, Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse			
Variable	Haupteffekte (p-Wert)		Wechselwirkung (p-Wert)
	Wirbel (Th 1-13/L 1-7)	Lok (A, B, C)	Lok/Wirbel
opt. Winkel BWS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
opt. Winkel LWS	< 0,0001	< 0,0001	0,0001

Tabelle 5: Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse für die Europäisch Kurzhaarkatze. In der linken Spalte sind die Variablen (optimale Implantationswinkel der Brust- und Lendenwirbelsäule) dargestellt. In der mittleren Spalte sind die Haupteffekte (Wirbel und Lokalisation) mit den jeweiligen p-Werten dargestellt. In der rechten Spalte ist die Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ dargestellt.

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

opt. = optimal

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

4.2 Haupteffekte der multifaktoriellen Varianzanalyse

4.2.1 Optimale Implantationswinkel je Tiergruppe

Der Haupteffekt in der dreifaktoriellen Varianzanalyse zeigt, dass der Faktor ‚Patientengruppe‘ einen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung des optimalen Implantationswinkels aufweist.

Die Graphik in Abb. 36 zeigt, dass der Mittelwert des optimalen Winkels zwischen Rauhaardackeln und Deutschen Schäferhunden sich im Bereich der Brustwirbelsäule nicht signifikant unterscheidet, da sich die Konfidenzintervalle überlagern. Die Europäisch Kurzhaarkatze hingegen hat einen signifikant höheren Mittelwert.

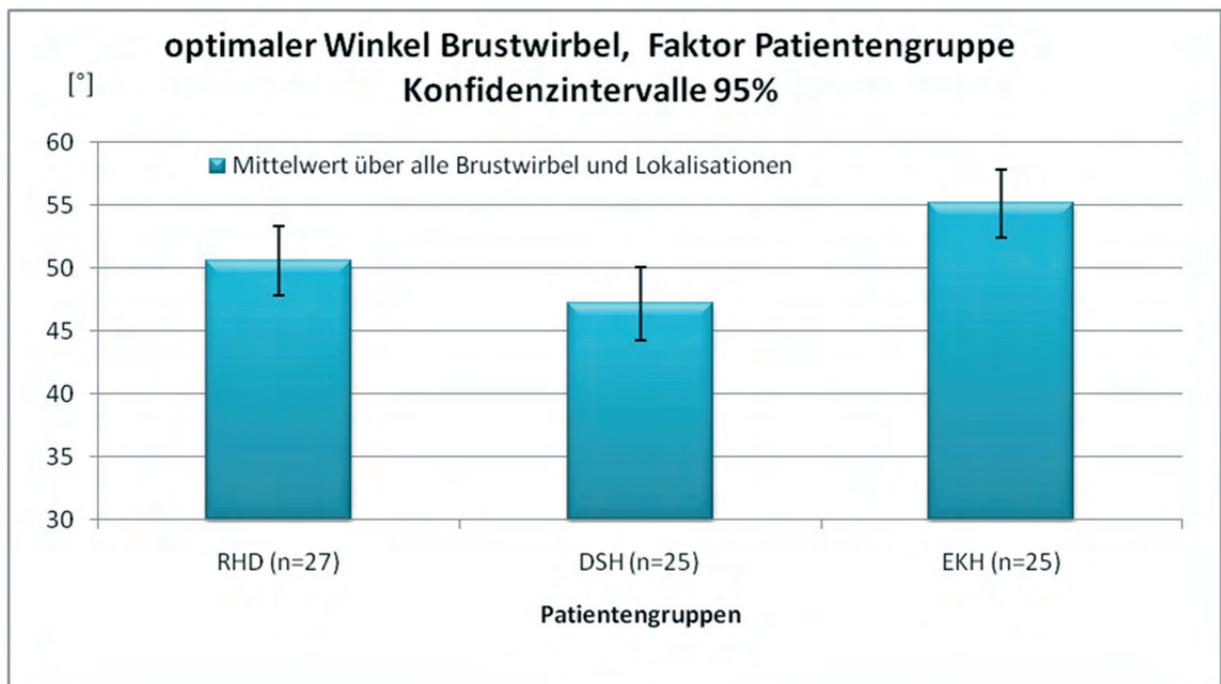


Abbildung 36: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Patientengruppen

RHD = Rauhaardackel

DSH = Deutscher Schäferhund

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

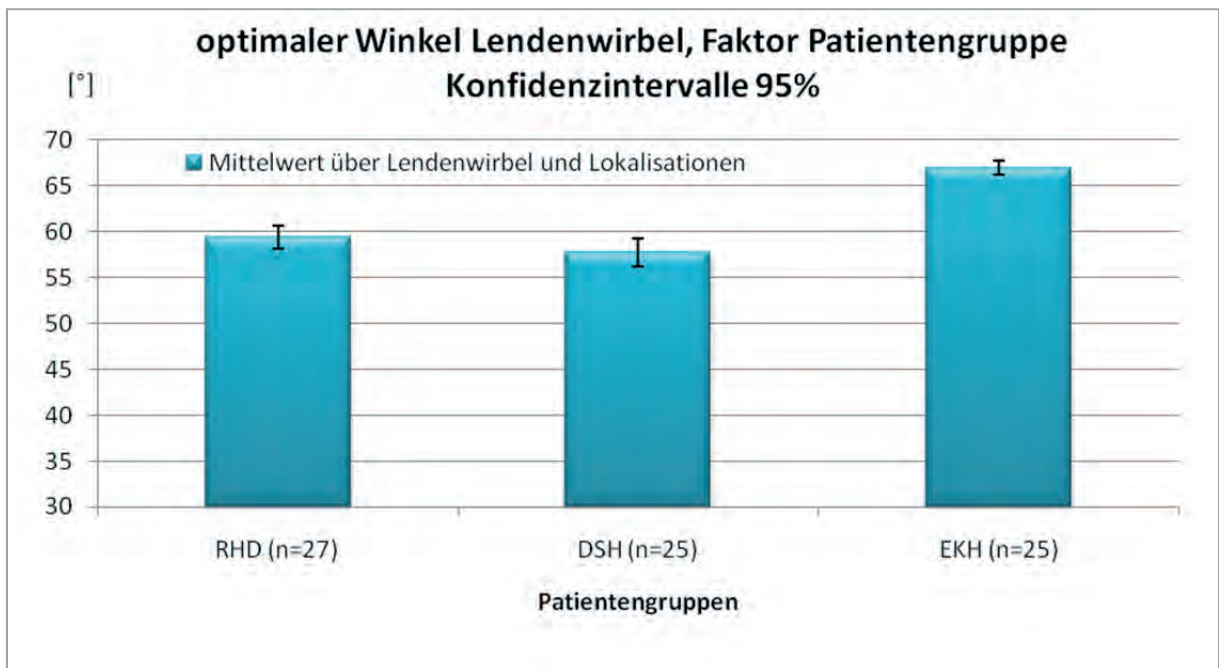


Abbildung 37: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Patientengruppen

RHD = Rauhaardackel

DSH = Deutscher Schäferhund

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

In der Graphik in Abb. 37 wird dargestellt, dass der Mittelwert des optimalen Winkels zwischen Rauhaardackeln und Deutschen Schäferhunden sich auch im Bereich der Lendenwirbelsäule nicht signifikant unterscheidet, da sich die Konfidenzintervalle überlagern. Die Europäisch Kurzhaarkatze hingegen hat wieder einen signifikant höheren Mittelwert.

Somit wird deutlich, dass der Faktor ‚Patientengruppe‘ definitiv einen Einfluss auf den optimalen Winkel hat, in der Graphik wird dargestellt, dass es sich hierbei ausschließlich um die Europäisch Kurzhaarkatze handelt.

4.3 Wirbel der Brustwirbelsäule

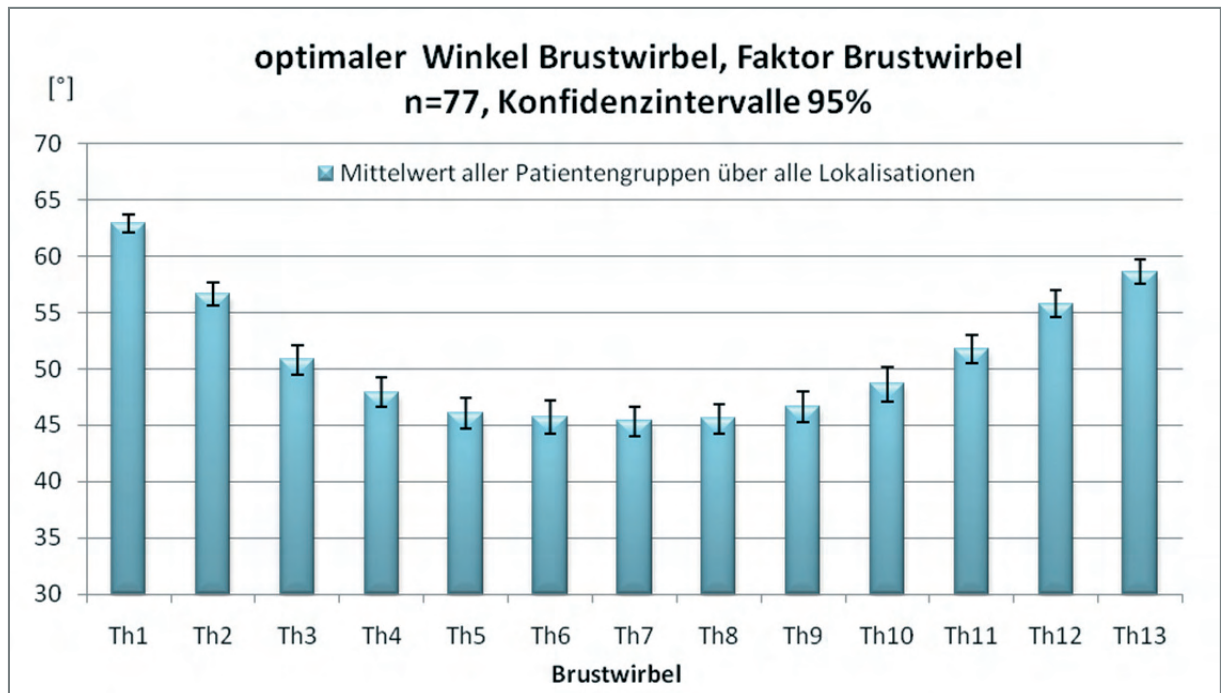


Abbildung 38: Graphik zur Darstellung der optimalen Winkel, bezogen auf die einzelnen Brustwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Brustwirbel 1 – 13

Th = Brustwirbel

I = Konfidenzintervall

In der multifaktoriellen Varianzanalyse wurde ein signifikanter Einfluss des Brustwirbels auf den optimalen Winkel nachgewiesen (Tab. 2; Haupteffekte). Die Winkel fallen von Th 1-3 von 62,9° auf 50,8° ab, von Th 4-9 bewegen sie sich im Bereich von 47,9°-45,3°, während die Winkel ab Th 10 bis zum 13. Brustwirbel von 48,7° auf 58,6° ansteigen. Zusammengefasst werden in der kranialen und kaudalen BWS sowohl die größten Winkel gemessen als auch die größten Differenzen zwischen den einzelnen Winkeln. Insgesamt ergibt sich durch das Abfallen der Winkel von Th 1-3 in Verbindung mit dem Plateau der Winkel von Th 4-9 sowie dem Anstieg der Winkel von Th 10-13 die Form einer sogenannten Badewannenkurve (Abb. 38).

4.3.1 Haupteffekt der Wirbel der Brustwirbelsäule aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse

Der Haupteffekt ist bei allen Patientengruppen signifikant (s. Tab. 3; Tab. 4; Tab. 5 – Haupteffekte Wirbel). Bei allen Patientengruppen (DSH, RHD und EKH) stellt sich über alle Lokalisationen (Lok A, Lok B, Lok C) eine Badewannenkurve dar, was bedeutet, die höchsten Mittelwerte der Winkel fanden sich jeweils in der kranialen und kaudalen Brustwirbelsäule, die niedrigsten Mittelwerte in der mittleren Brustwirbelsäule (Abb. 39; Abb. 40; Abb. 41).

In Abb. 39 sind die Mittelwerte der gemessenen Winkel an allen Lokalisationen für den Rauhaardackel dargestellt. Die höchsten Mittelwerte für den optimalen Implantationswinkel wurden beim Rauhaardackel am 1. Brustwirbel ermittelt (Lok C 64,6°; Lok B 63°; Lok A 61,4°). Die niedrigsten Mittelwerte wurden an Th 9 ermittelt (Lok A 41,5°), an Th 8 an Lok B 41,8° sowie für die Lok C an Th 7 (50°). Die Kurven der Lokalisationen A und B zeigen die Form einer Badewannenkurve, während die Kurve der Lokalisation C im Bereich von Th 3- 10 kein Plateau aufweist und eher die Form eines Trichters hat Abb. 37. Das Niveau der ermittelten Mittelwerte ist bei Lokalisation C höher als an den Lokalisationen A und B (niedrigster Mittelwert an Lokalisation C: 50°; niedrigster Mittelwert an Lokalisation A: 41,5°; niedrigster Mittelwert an Lokalisation B: 41,8°). Die ermittelte Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert ist bei Lokalisation A und Lokalisation B deutlich höher, als es bei Lokalisation C der Fall ist. (Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Mittelwert: Lok A: 19,9°; Lok B: 20,2; Lok C: 14,6°). Es kommt also in Lokalisation A und B zu einem steileren Abfall der Mittelwerte der optimalen Winkel im Bereich der kranialen BWS sowie zu einem steileren Anstieg der Mittelwerte der optimalen Winkel im Bereich der kaudalen BWS, als es in Lokalisation C der Fall ist (Abb. 39).

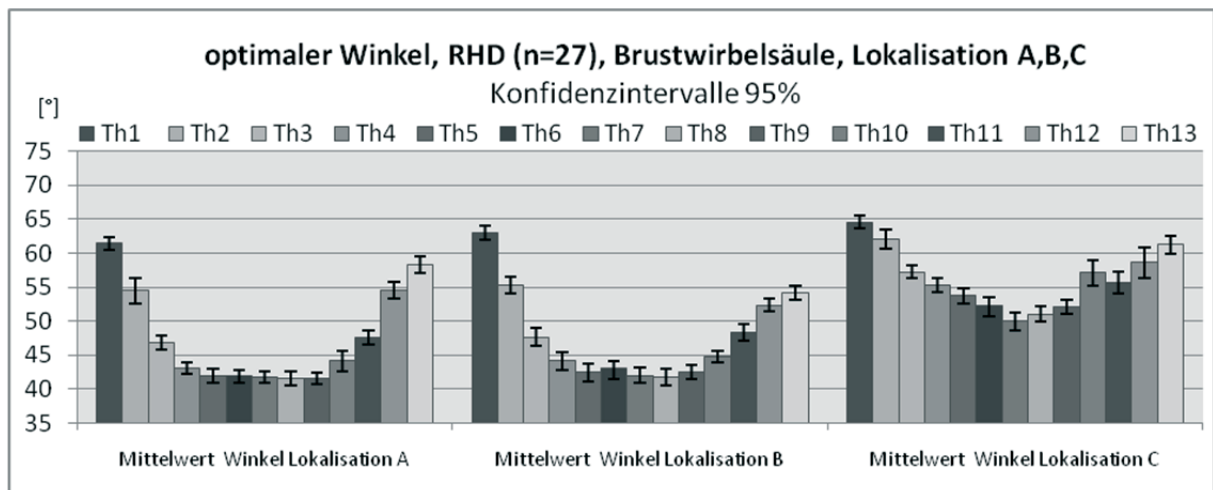


Abbildung 39: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Rauhaardackels, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (Th 1 – 13), B (Th 1 – 13) und C (Th 1 – 13)

RHD = Rauhaardackel

Th = Brustwirbel (1 – 13)

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

In Abb. 40 sind die Mittelwerte der gemessenen Winkel über alle Lokalisationen für den Deutschen Schäferhund dargestellt. Die höchsten Mittelwerte für den optimalen Implantationswinkel wurden beim DSH am 1. Brustwirbel ermittelt (Lok C 61,9°; Lok B 61,0°; Lok A 57,5°). Die niedrigsten Mittelwerte wurden an Th 7 (Lok A 37,2°; Lok B 38,0°) sowie an Th 8 (Lok C 47,9°) ermittelt.

Die Kurven der Lokalisationen A und B zeigen beim DSH die Form einer Badewannenkurve, während die Kurve der Lokalisation C im Bereich von Th 3- 10 kein Plateau aufweist und daher die Form eines Trichters hat (Abb. 40). Das Niveau der ermittelten Mittelwerte ist bei Lokalisation C höher als an den Lokalisationen A und B (niedrigster Mittelwert bei Lokalisation A: 37,2°; niedrigster Mittelwert bei Lokalisation B: 38,0°; niedrigster Mittelwert bei Lokalisation C: 47,9°). Die ermittelte Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert ist bei Lokalisation A und Lokalisation B deutlich höher, als es bei Lokalisation C der Fall ist. (Jeweilige Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Mittelwert, berechnet an den einzelnen Lokalisationen: Lok A: 20,3°; Lok B: 23,0°; Lok C: 14,0°). Es kommt also in Lokalisation A und B zu einem steileren Abfall der Mittelwerte der optimalen Winkel im Bereich der kranialen BWS sowie zu einem steileren Anstieg der Mittelwerte der

optimalen Winkel im Bereich der kaudalen BWS, als es in Lokalisation C der Fall ist (Abb. 40).

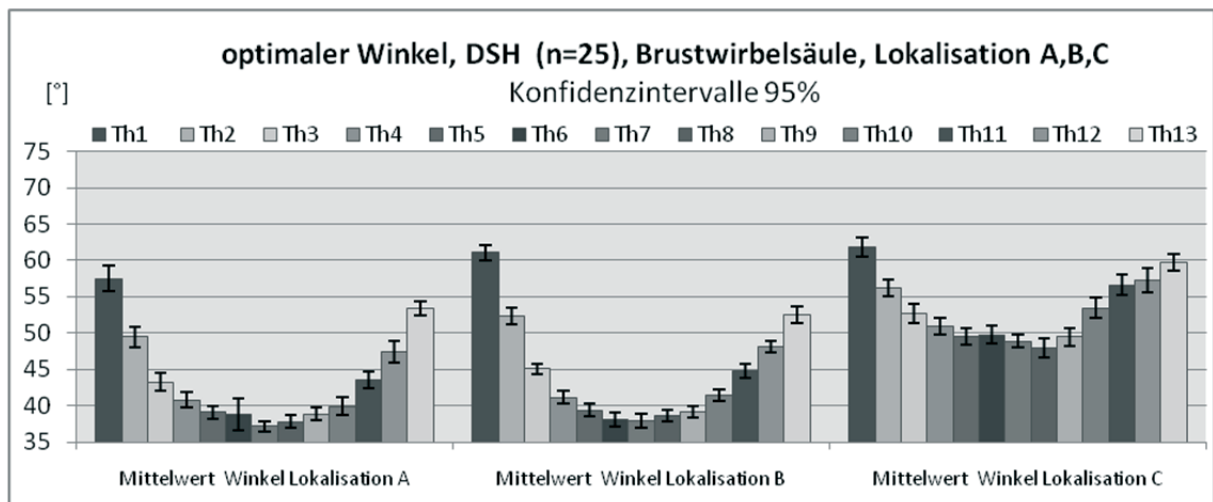


Abbildung 40: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Deutschen Schäferhundes, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (Th 1 – 13), B (Th 1 – 13) und C (Th 1 – 13)

DSH = Deutscher Schäferhund

Th = Brustwirbel (1 – 13)

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

In Abbildung 41 sind die Mittelwerte der gemessenen Winkel über alle Lokalisationen für die Europäische Kurzhaarkatze dargestellt. Die höchsten Mittelwerte für den optimalen Implantationswinkel wurden bei der EKH an den folgenden Brustwirbeln ermittelt: Th 1, Lok B 66,7°; Th 13, Lok C 65,6°; Th 1 Lok A 65,0°. Die niedrigsten Mittelwerte wurden an Th 5 (Lok A 44,6°) sowie an Th 6 Lok B 45,3° und Th 5 Lok C 56,4° ermittelt.

Die Kurven der Lokalisationen A und B zeigen bei der EKH die Form einer Badewannenkurve, während die Kurve der Lokalisation C im Bereich von Th 4- 10 kein Plateau aufweist, sondern einen dezent s-förmigen Verlauf nimmt. In ihrer Ganzheit ist die Kurve der Lokalisation C dennoch als Trichterkurve zu bezeichnen, da innerhalb der S-Form das Niveau des Anstiegs nur gering ist (von 56,5° Th 6 auf 60,5° Th 9) und die ermittelten Höchstwerte der Lokalisation C (Th 1 65,2°, Th 13 65,6°) nicht annähernd erreicht werden (Abb. 41). Ebenso wie bei den DSH und

RHD ist das Niveau der ermittelten Mittelwerte bei Lokalisation C höher als an den Lokalisationen A und B (niedrigster Mittelwert an Lokalisation A: 44,6°; niedrigster Mittelwert an Lokalisation B: 45,3°; niedrigster Mittelwert an Lokalisation C: 56,4°). Die ermittelte Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert ist bei Lokalisation A und Lokalisation B deutlich höher, als es bei Lokalisation C der Fall ist. (Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Mittelwert: Lok A: 20,4°; Lok B: 21,4°; Lok C: 9,2°). Es kommt also in Lokalisation A und B zu einem steileren Abfall der Mittelwerte der optimalen Winkel im Bereich der kranialen BWS sowie zu einem steileren Anstieg der Mittelwerte der optimalen Winkel im Bereich der kaudalen BWS, als es in Lokalisation C der Fall ist (Abb. 41).

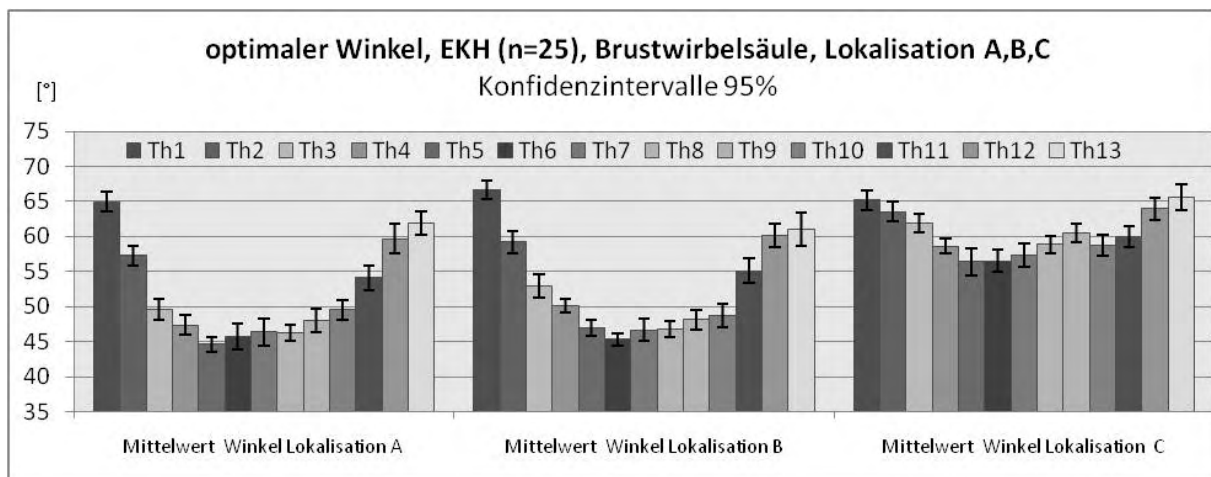


Abbildung 41: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule der Europäisch Kurzhaarkatze, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (Th 1 – 13), B (Th 1 – 13) und C (Th 1 – 13)

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

Th = Brustwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

Im Vergleich der Patientengruppen untereinander wird deutlich, dass bei allen drei Gruppen die Lokalisationen A und B eine sogenannte Badewannenkurve aufweisen (Abb. 39; Abb. 40; Abb. 41), während die Kurven von Lokalisation C eher einem Trichter ähneln, da ihnen in Bereich Th 3 – 10 das Plateau fehlt. Das höchste Niveau an Mittelwerten der Winkel findet sich bei den EKH (Abb. 41: x_{\max} 66,7°/ x_{\min} 44,6°), gefolgt von den Rauhaardackeln (Abb. 39: x_{\max} 64,6°/ x_{\min} 41,5°) und den

Schäferhunden (Abb. 40: x_{\max} 61,9°/ x_{\min} 37,2°), wobei der niedrigste ermittelte Mittelwert bei den DSH gefunden wurde (Abb. 40: x_{\min} 37,2°), der höchste Mittelwert der Winkel in der Brustwirbelsäule findet sich bei den Europäisch Kurzhaarkatzen mit x_{\max} 66,7° (Abb. 41).

4.4 Wirbel der Lendenwirbelsäule

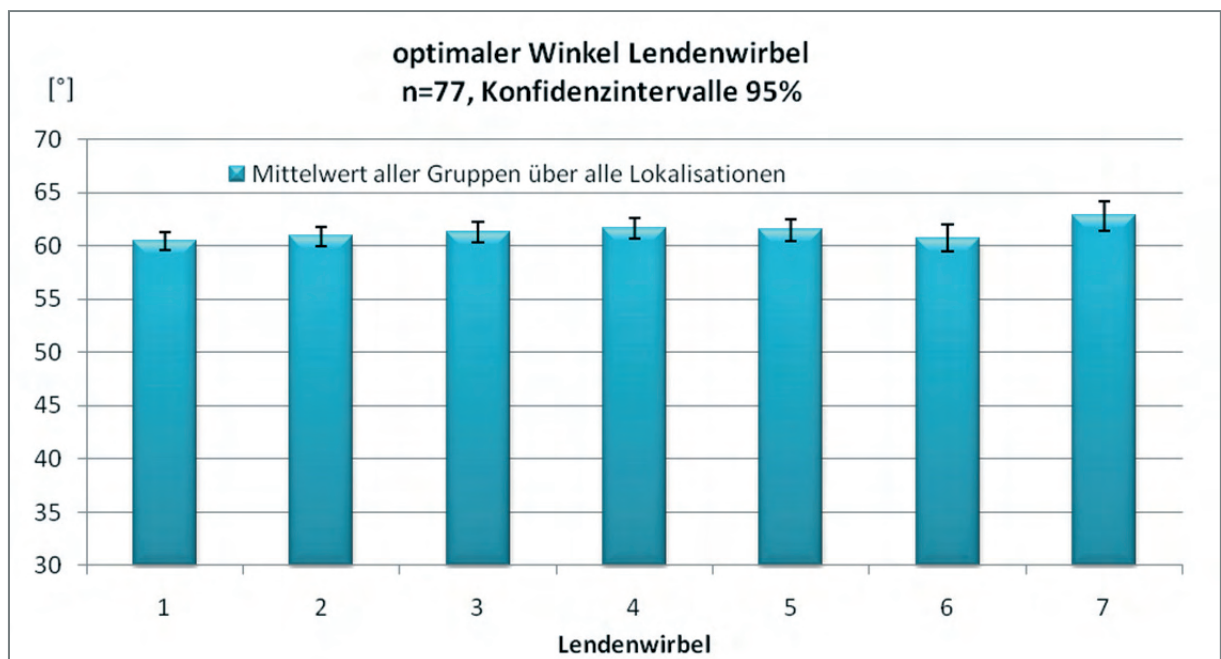


Abbildung 42: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Tiergruppen

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Lendenwirbel 1 - 7

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

In der multifaktoriellen Varianzanalyse wurde ein signifikanter Einfluss des Lendenwirbels auf den optimalen Winkel nachgewiesen. Im Gegensatz zu den Thorakalwirbeln bilden die einzelnen Lendenwirbel nahezu ein Plateau, welches sich zwischen den Werten 60,4° (L1) und 62,8° (L7) bewegt. Die Unterschiede der einzelnen Mittelwerte der Lendenwirbel zueinander sind somit deutlich geringer, als die Mittelwerte der Thorakalwirbel (Abb. 42).

4.4.1 Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse über die Lendenwirbel

Der Haupteffekt des Lendenwirbels auf den optimalen Winkel ist bei den Patientengruppen RHD und EKH signifikant (s. Tab. 3 und Tab. 5).

Der Faktor ‚Lendenwirbel‘ zeigt beim Deutschen Schäferhund hingegen keine Signifikanz (s. Tab. 4).

Die Mittelwerte der Winkel der Lendenwirbel der Patientengruppe DSH unterscheiden sich im Maximum nur um einen Betrag von $1,1^\circ$, während die Unterschiede in der Gruppe RHD im Maximum $2,5^\circ$ und die der EKH im Maximum $4,5^\circ$ betragen (s. Abb. 43; Abb. 44; Abb. 45; Abb. 46). In der Varianzanalyse wurde der geringe Betrag von $1,1^\circ$ bei den DSH als nicht signifikant bewertet. Anzumerken ist hierbei, dass im Rahmen der multifaktoriellen Varianzanalyse die Mittelwerte der Winkel der Lendenwirbel über die jeweiligen Lokalisationen (Lok A – C) gebildet wurden. Einzelne Winkel der Lendenwirbelsäule jedoch unterscheiden sich bezüglich des Faktors ‚Lokalisation‘ deutlich voneinander, wie es der Graphik in Abb. 46 zu entnehmen ist. Als Beispiel ist hier der 1. Lendenwirbel, Lok A ($54,2^\circ$) im Vergleich zum 7. Lendenwirbel, Lok A ($50,2^\circ$) angeführt (Abb. 46).

Die Signifikanz des Faktors ‚Lendenwirbel‘ ist also für die Bewertung der Patientengruppen nicht ausreichend, sondern erschließt sich erst durch den Einfluss des Faktors ‚Lokalisation‘ und der nachfolgend beschriebenen Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘.

Grundsätzlich liegt das Niveau der Mittelwerte der EKH höher als das der Hunde (Abb. 43; Abb. 44; Abb. 45). Über alle Lendenwirbel haben die Europäisch Kurzhaarkatzen einen Mittelwert von $66,9^\circ$ während die Rauhaardackel mit $59,4^\circ$ und die Deutschen Schäferhunde mit $57,8^\circ$ im Mittel liegen.

Die Mittelwerte der RHD steigen von L 1 ($58,8^\circ$) bis L 7 ($60,9^\circ$) flach an (Abb. 44).

Die Mittelwerte der EKH steigen von L 1 ($65,3^\circ$) bis L 7 ($69,9^\circ$) ebenfalls flach an (Abb. 43).

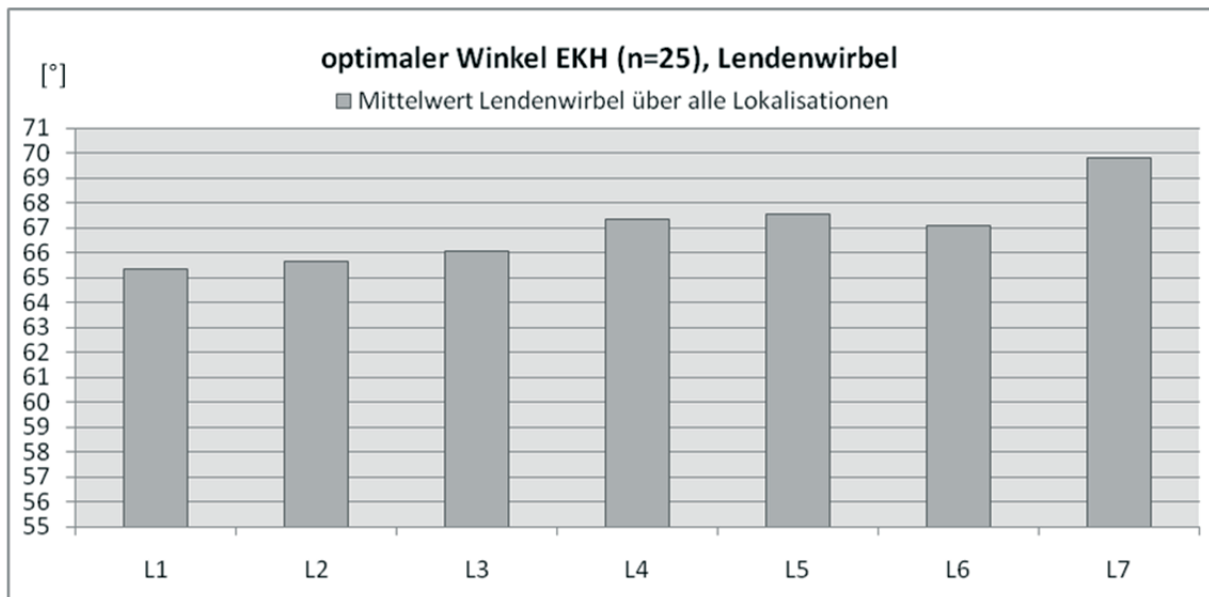


Abbildung 43: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Europäisch Kurzhaarkatze)

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

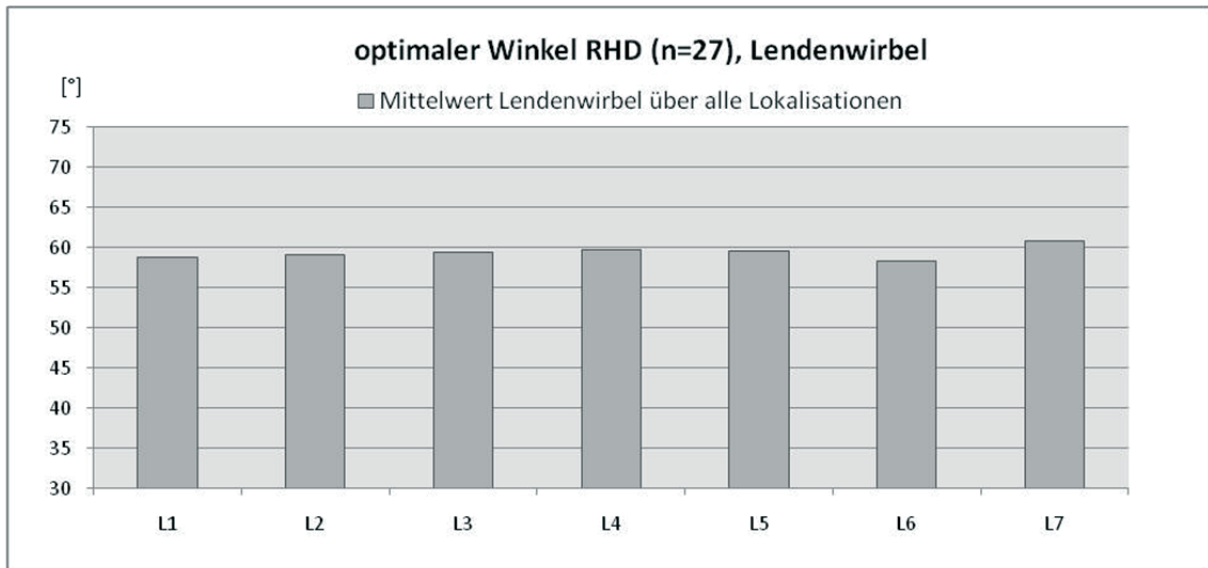


Abbildung 44: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Rauhaardackel)

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel

RHD = Rauhaardackel

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

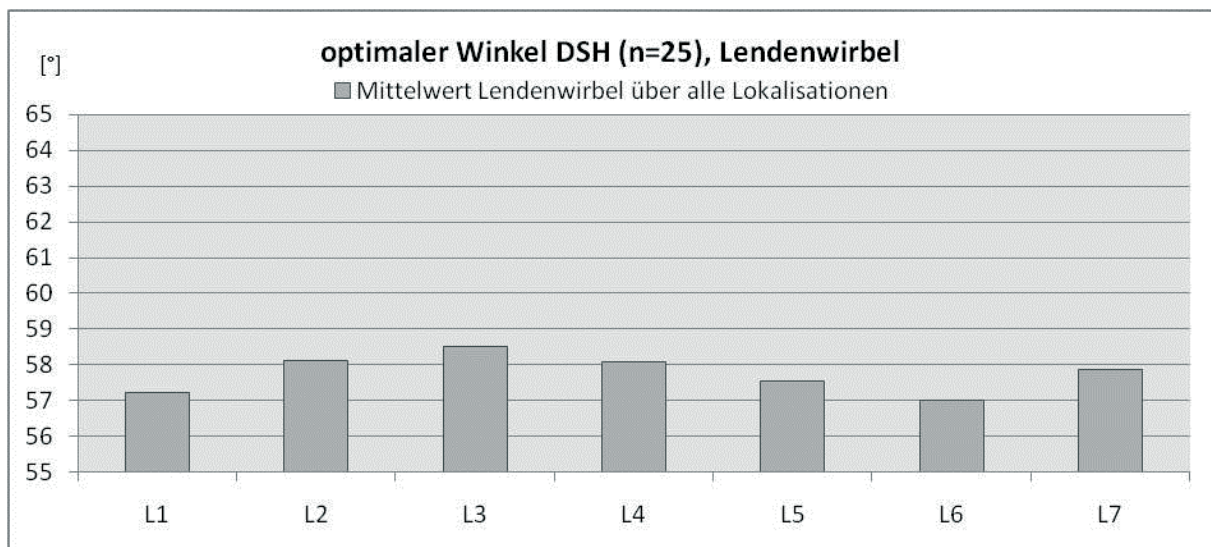


Abbildung 45: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Deutscher Schäferhund)

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel

DSH = Deutscher Schäferhund

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

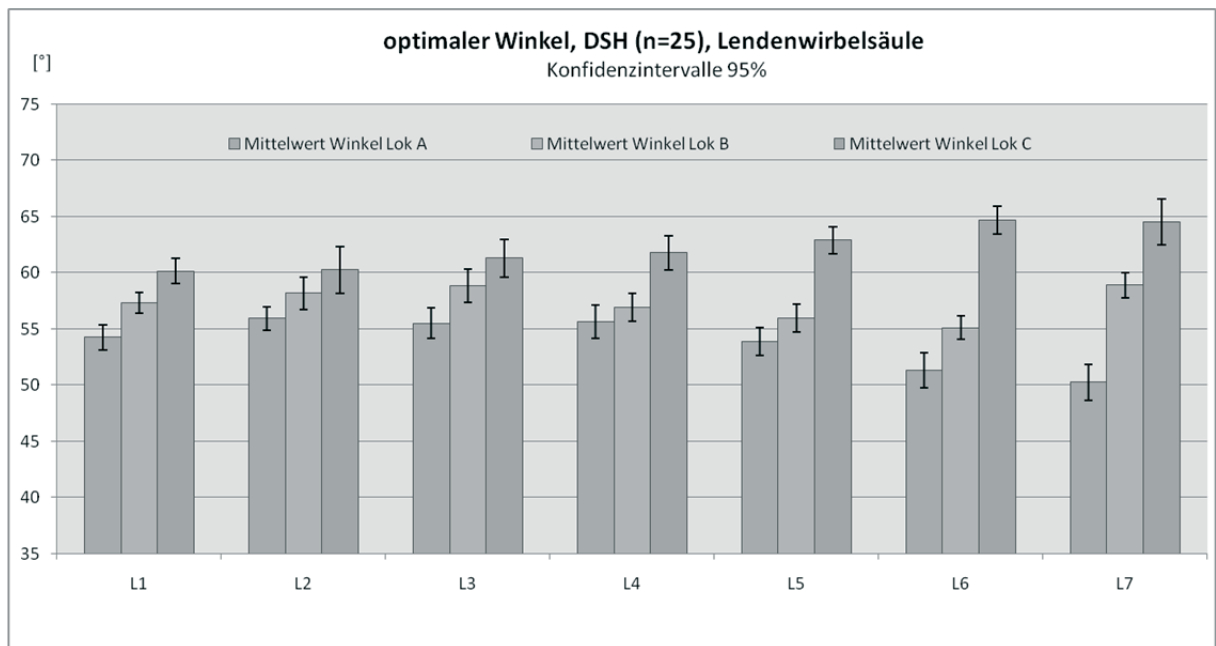


Abbildung 46: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über die einzelnen Lokalisationen (Deutscher Schäferhund)

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der einzelnen Lendenwirbeln

DSH = Deutscher Schäferhund

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

4.5 Optimale Winkel je Lokalisation über alle Tiergruppen

4.5.1 Optimaler Winkel der Brustwirbelsäule

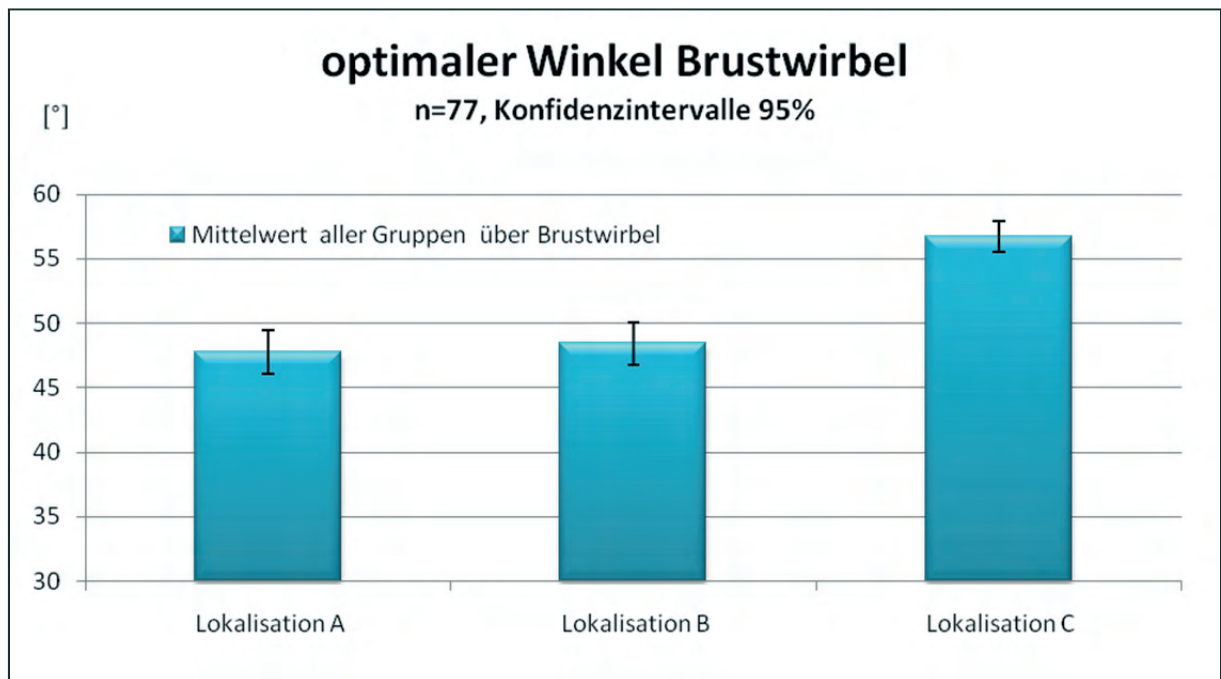


Abbildung 47: Balkendiagramm zum optimalen Implantationswinkel in der Brustwirbelsäule an allen Lokalisationen über alle Tiergruppen

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Lokalisationen (A, B, C)

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

Dargestellt sind die Mittelwerte aller Patientengruppen über die gesamte Brustwirbelsäule an den Lokalisationen A, B und C. In der multifaktoriellen Varianzanalyse ist eine Signifikanz der Lokalisationen auf die Variable ‚Winkel‘ nachgewiesen (Tab. 2).

In den Aufschlüsselungen der einzelnen Lokalisationen zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Lokalisationen A und C sowie zwischen B und C. Es zeigt sich jedoch kein Unterschied zwischen den Lokalisationen A und B (Abb. 47).

4.5.2 Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse über den Einfluss des Faktors ‚Lokalisation‘ auf den optimalen Winkel in der BWS

Der Faktor ‚Lokalisation‘ weist über alle Patientengruppen einen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung des optimalen Winkels in der Brustwirbelsäule auf (s. Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5).

Die Lokalisation C zeigt, bis auf eine Ausnahme, bei allen Patientengruppen den jeweils höchsten Wert an den Wirbeln der Brustwirbelsäule. Die Ausnahme bilden die ersten Brustwirbel bei allen drei Patientengruppen, da hier kein signifikant höherer Wert des Winkels an der Lokalisation festgestellt werden konnte. An mindestens zwei Lokalisationen des 1. Brustwirbels kommt es zu einer Überlagerung der Konfidenzintervalle (Abb. 48; Abb. 49; Abb. 50).

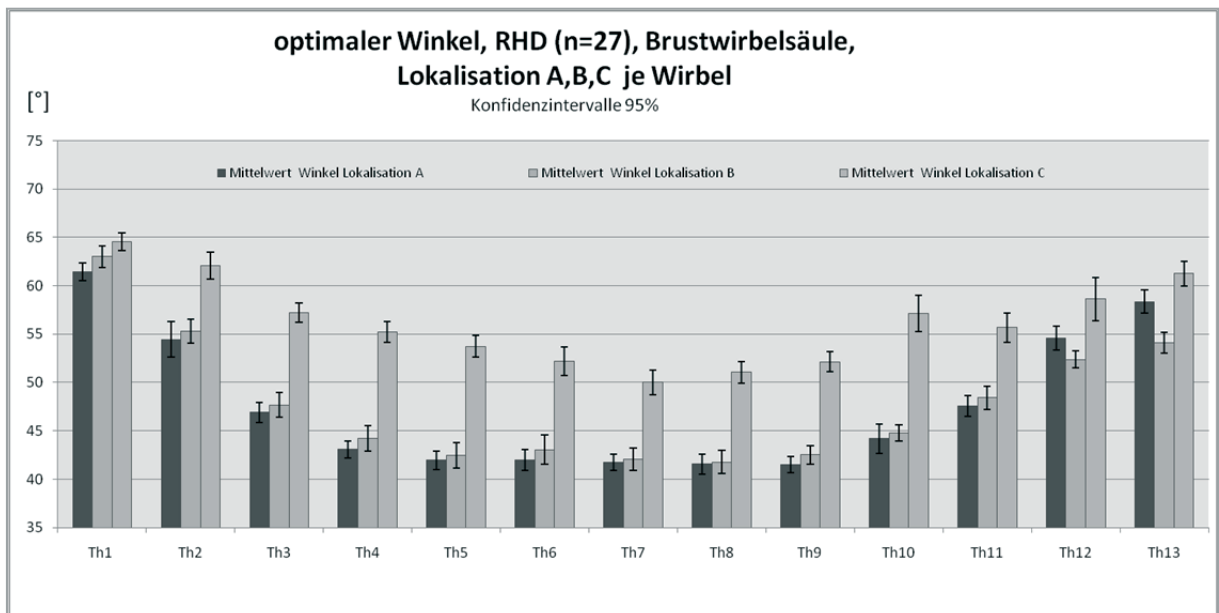


Abbildung 48: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule über alle Lokalisationen (Rauhaardackel), bezogen auf die einzelnen Brustwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der entsprechenden Wirbel

RHD = Rauhaardackel

Th = Brustwirbel

n = Gruppengröße

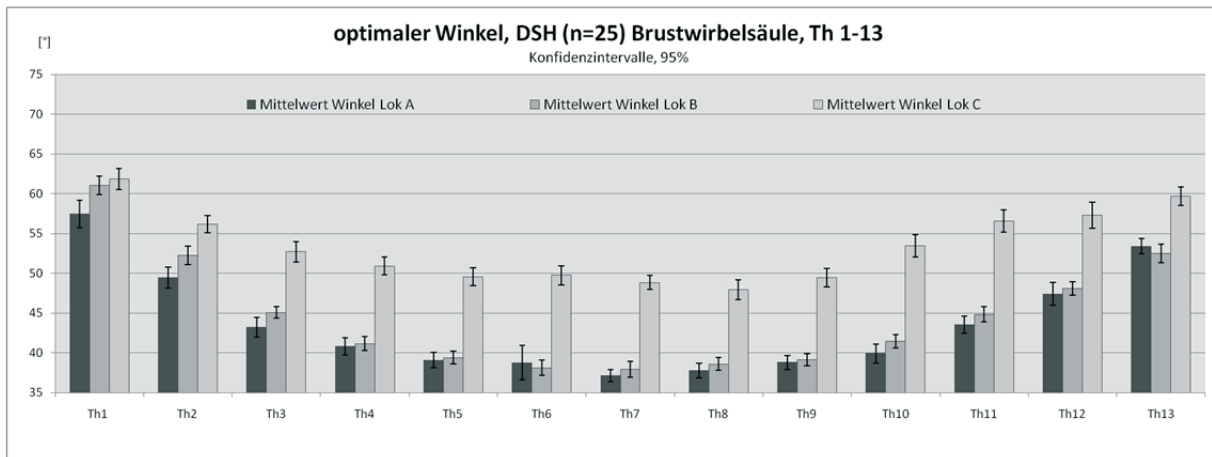


Abbildung 49: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule über alle Lokalisationen (Deutscher Schäferhund), bezogen auf die einzelnen Brustwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der entsprechenden Wirbel

DSH = Deutscher Schäferhund

Th = Brustwirbel

n = Gruppengröße

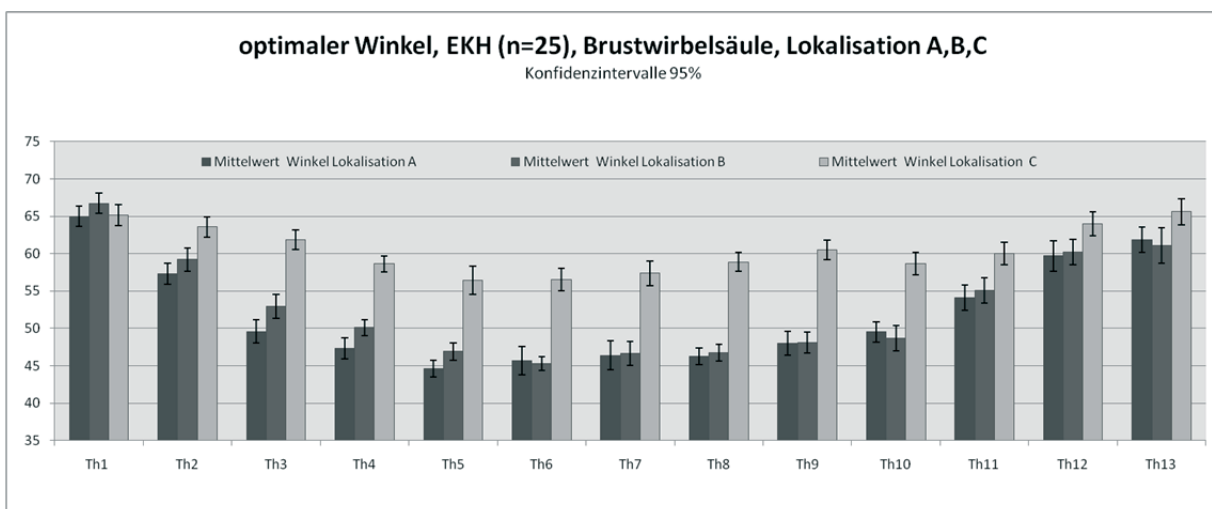


Abbildung 50: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule über alle Lokalisationen (Europäisch Kurzhaarkatze), bezogen auf die einzelnen Brustwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der entsprechenden Wirbel

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

Th = Brustwirbel

n = Gruppengröße

Im Vergleich der Gruppen untereinander (Abb. 48; Abb. 49; Abb. 50) wird ersichtlich, dass das Niveau der Mittelwerte an Lokalisation C bei den EKH höher ist, als bei den DSH und RHD. (EKH Lok C_{\max} 65,6°/Lok C_{\min} 56,4°; RHD Lok C_{\max} 64,6°/Lok C_{\min} 50°; DSH Lok C_{\max} 61,9°/Lok C_{\min} 47,9°).

4.5.3 Optimaler Winkel der Lendenwirbelsäule

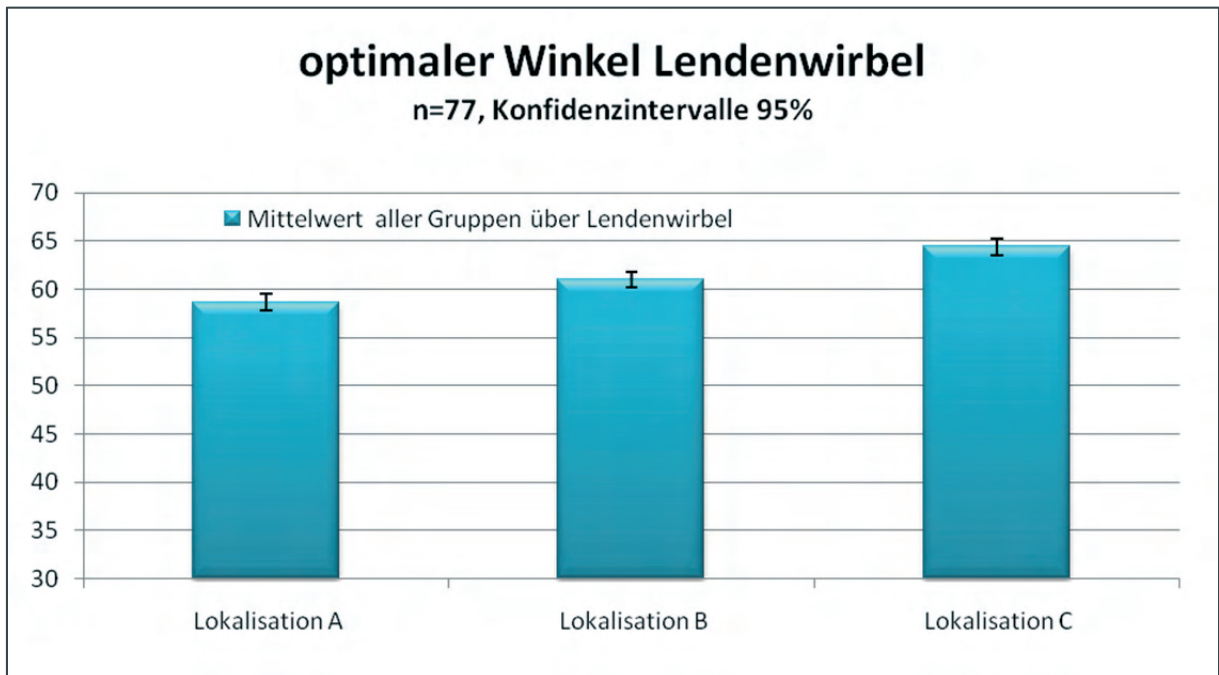


Abbildung 51: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule an allen Lokalisationen über alle Tiergruppen

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Lokalisationen (A, B, C)

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

Dargestellt sind die Mittelwerte aller Patientengruppen über die gesamte Lendenwirbelsäule an den Lokalisationen A, B und C (Abb. 51). In der Varianzanalyse ist eine Signifikanz der Lokalisationen auf den optimalen Winkel nachgewiesen. In den Aufschlüsselungen der einzelnen Lokalisationen zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Lokalisationen A und C sowie B und C, jedoch nicht zwischen Lokalisation A und B (Abb. 51). Im Gegensatz zur Brustwirbelsäule jedoch besteht ein geringerer Unterschied zwischen den einzelnen Mittelwerten der gemessenen Winkel. Der Mittelwert von Lokalisation A liegt bei 58,6°, der Mittelwert

von Lok B liegt bei 61° . Der Mittelwert von Lokalisation C ist zwar signifikant höher ($64,4^\circ$), unterscheidet sich jedoch nur um wenige Grad von Lok A (Differenz Lok C – Lok A = $5,8^\circ$) und Lok B (Differenz Lok C – Lok B = $3,4^\circ$).

4.5.4 Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse über den Einfluss des Faktors ‚Lokalisation‘ auf den optimalen Winkel in der LWS

Der Haupteffekt des Faktors ‚Lokalisation‘ auf den optimalen Winkel ist bei allen Patientengruppen signifikant ausgeprägt (Tab. 3; Tab. 4; Tab. 5).

Bei beiden Hunderassen zeigt Lok C durchweg den größten Winkel im Mittelwert (Abb. 52; Abb. 53), eine Ausnahme bilden lediglich L 1 und L 2 der Patientengruppe DSH; hier überlagern sich die Konfidenzintervalle der Mittelwerte (Abb. 53). Bei den Europäisch Kurzhaarkatzen ist ausschließlich am 7. Lendenwirbel der Einfluss der Lokalisation signifikant ausgeprägt (Abb. 54). Desweiteren finden sich keine signifikanten Unterschiede an den Lokalisationen der Lendenwirbel 1 - 6 bei den Europäisch Kurzhaarkatzen (Abb. 54). Im Vergleich der Patientengruppen DSH und RHD mit der Patientengruppe EKH ist erkennbar, dass der Mittelwert der gemessenen Winkel bei Lok C bei beiden Hunderassen niedriger ist, als bei der Europäisch Kurzhaarkatze. (RHD Lok C_{\max} $67,2^\circ$ /Lok C_{\min} $61,9^\circ$; DSH Lok C_{\max} $64,7^\circ$ /Lok C_{\min} $60,1^\circ$; EKH Lok C_{\max} $71,4^\circ$ / Lok C_{\min} $66,4^\circ$) (Abb. 52; Abb. 53; Abb. 54).

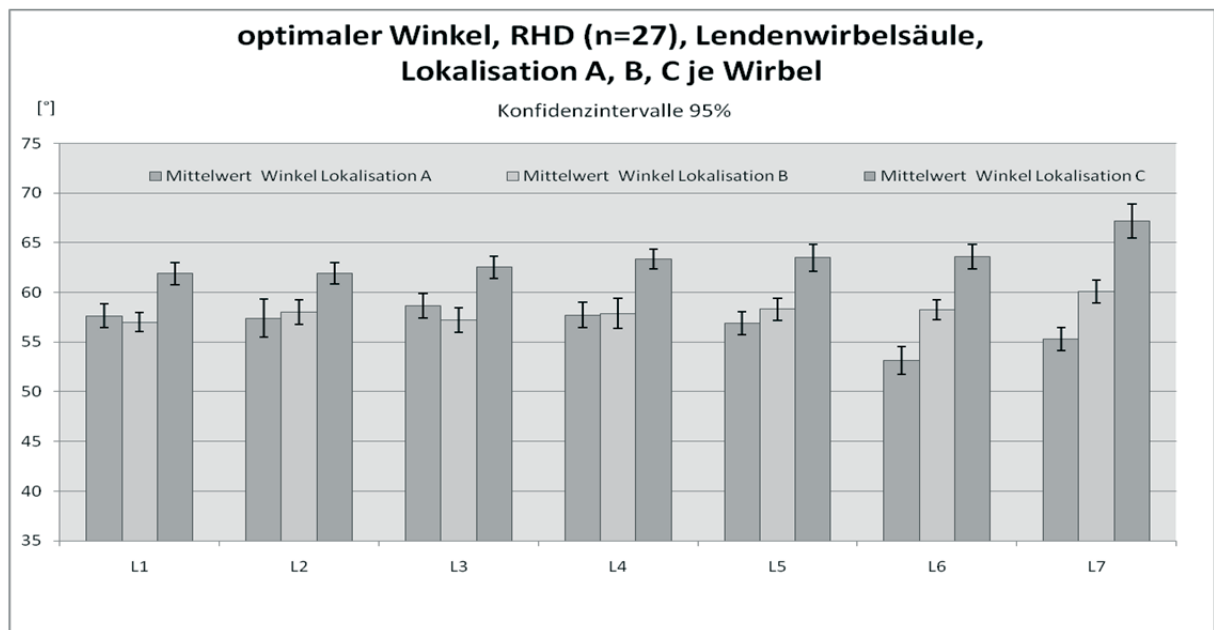


Abbildung 52: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Rauhaardackel), bezogen auf die einzelnen Lendenwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der entsprechenden Wirbel

RHD = Rauhaardackel

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

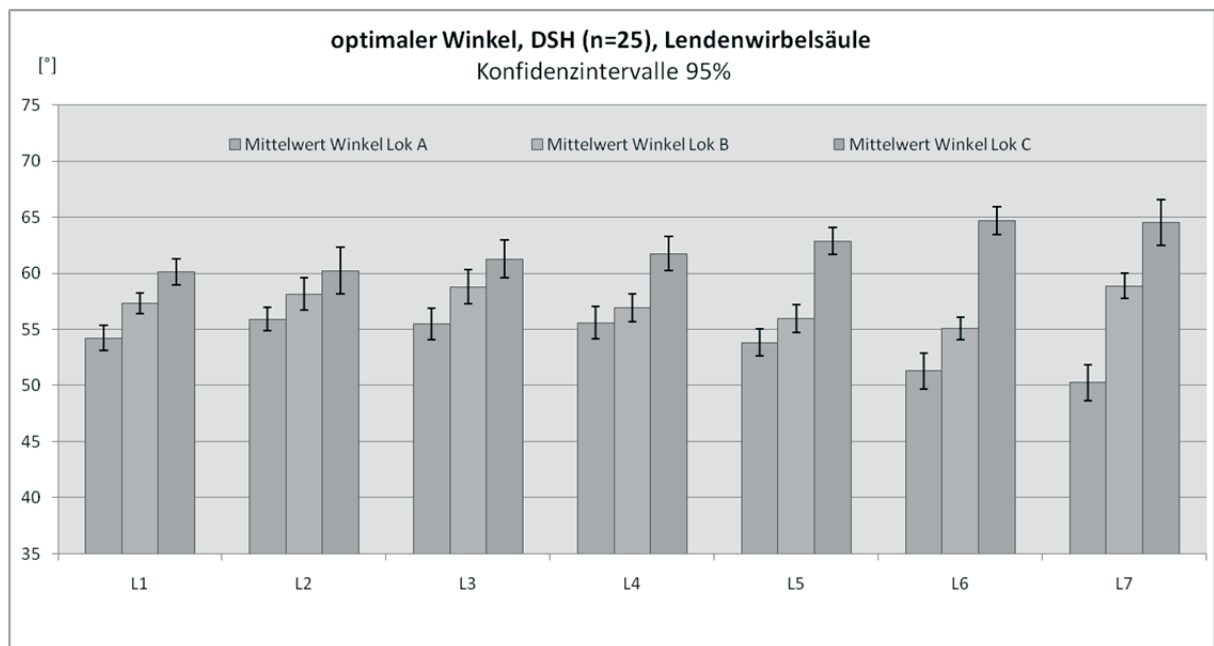


Abbildung 53: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Deutscher Schäferhund), bezogen auf die einzelnen Lendenwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der entsprechenden Wirbel

DSH = Deutscher Schäferhund

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

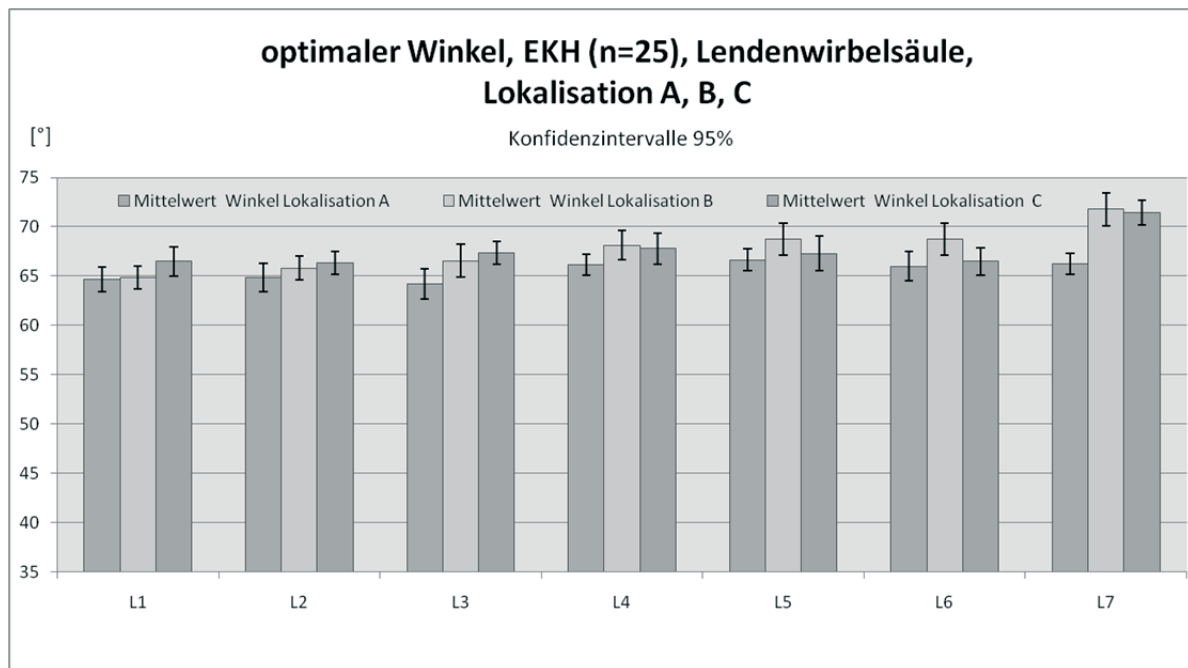


Abbildung 54: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Europäisch Kurzhaarkatze), bezogen auf die einzelnen Lendenwirbel

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an den einzelnen Lokalisationen der entsprechenden Wirbel

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

L = Lendenwirbel

n = Gruppengröße

4.6 Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘

In allen Patientengruppen wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘ festgestellt (s. Tab. 3, 4, 5).

4.6.1 Wechselwirkungen in der Brustwirbelsäule

Zur Verdeutlichung der Wechselwirkungen zwischen den Faktoren ‚Wirbel‘ und ‚Lokalisation‘ sollen an dieser Stelle noch einmal die Haupteffekte dargestellt werden.

1. Die Mittelwerte der Winkel der einzelnen Wirbel Th 1 - 13 bilden eine sogenannte Badewannenkurve.
2. Die Mittelwerte der Winkel an Lok C weisen bei Th 2 - 13 den jeweils höchsten Mittelwert auf.
3. Die Mittelwerte der Winkel an den Lokalisationen A und B unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Die Interaktion, bzw. Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘ wird bei allen drei Patientengruppen deutlich, wenn die Geometrie der sich ergebenden Kurven der benachbarten Wirbel an den Lokalisationen miteinander verglichen wird (Abb. 55; Abb. 56; Abb. 57). Zur Veranschaulichung wurde das von den Mittelwertbalken begrenzte Gebiet als hellblaue Fläche (entspricht dem Fassungsvermögen eines Beckens) dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Mittelwerte an Lokalisation A und B von Th 1 – 4 steil abfallen. Von Th 5 – 10 bilden sie ein Plateau, während ab Th 11 ein steiler Anstieg erfolgt (Abb. 55; Abb. 56; Abb. 57).

Im Vergleich zu den Lokalisationen A und B zeigen die Mittelwerte von Lok C eine andere Kurvenform: von Th 1 – 6 (7) fallen die Mittelwerte der Winkel flach ab und steigen anschließend bis zum 13. Brustwirbel an. Die Kurven von Lok A und Lok B weisen somit eine Badewannenkurve auf, während die Kurven der Mittelwerte von Lok C die Form eines Trichters aufweist.

Die Wechselwirkung zwischen den Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘ wird zudem in den unterschiedlich hohen Differenzen zwischen den jeweiligen Mittelwerten von Th 1 und Th 13 deutlich: während die Differenzen zwischen Lok A und C im Minimum

0,4° und im Maximum 4,1° betragen, liegt das Minimum der Differenz bei Lokalisation B bei 5,6° und das Maximum bei 8,9°.

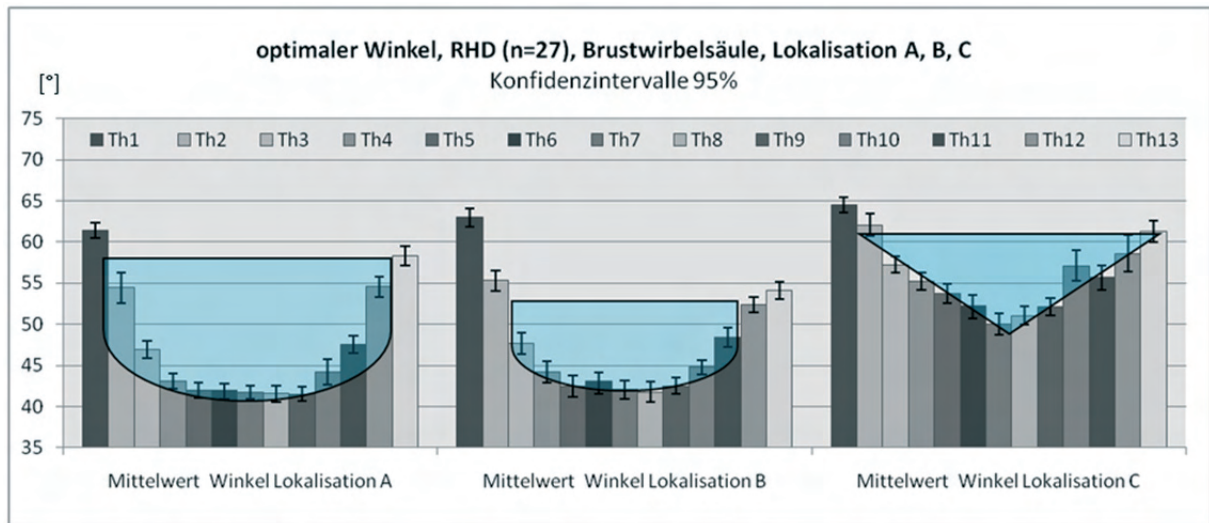


Abbildung 55: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Rauhaardackels, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (Th 1 – 13), B (Th 1 – 13) und C (Th 1 – 13)

RHD = Rauhaardackel

Th = Brustwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

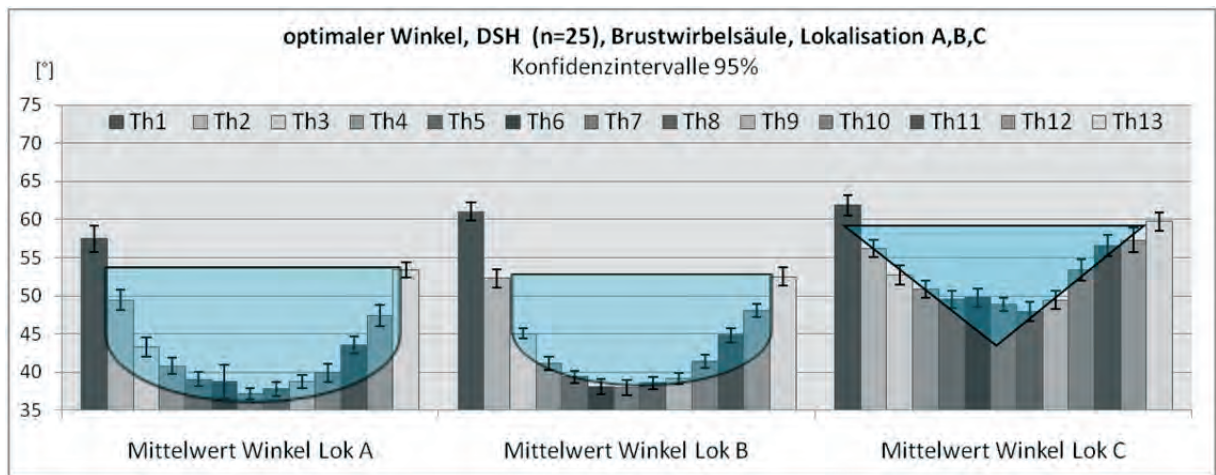


Abbildung 56: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Deutschen Schäferhundes, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (Th 1 – 13), B (Th 1 – 13) und C (Th 1 – 13)

DSH = Deutscher Schäferhund

Th = Brustwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

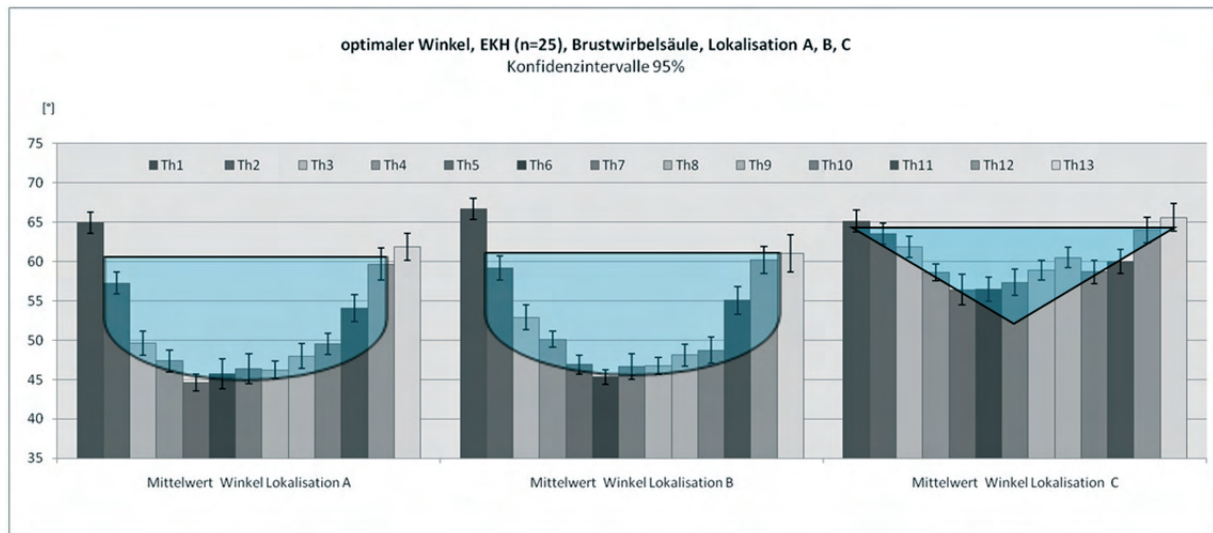


Abbildung 57: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule der Europäisch Kurzhaarkatze, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (Th 1 – 13), B (Th 1 – 13) und C (Th 1 – 13)

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

Th = Brustwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

4.6.2 Wechselwirkungen in der Lendenwirbelsäule

In allen Patientengruppen wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen den Lokalisationen und den Wirbeln festgestellt (siehe Tabellen 2 - 5).

Haupteffekte Rauhaardackel (RHD):

1. Die Mittelwerte der Winkel weisen in der Lendenwirbelsäule einen flachen Anstieg von L 1 – 7 auf (Abb. 58).
2. An Lokalisation C liegt das Niveau der Mittelwerte höher, als das Niveau der Mittelwerte an Lok A und Lok B (Abb. 58).

Wechselwirkung:

Die Interaktion, bzw. Wechselwirkung der Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘ ist in den unterschiedlich ausgeprägten Anstiegen der Mittelwerte der Winkel in der Lendenwirbelsäule an den einzelnen Lokalisationen zu erkennen (Abb. 58).

An Lokalisation A erfolgt ein flacher Abstieg der Mittelwerte von L 1 (57,6°) bis L 7 (55,3°). An Lokalisation B und C erfolgt hingegen jeweils ein flacher Anstieg der Mittelwerte von L 1 bis L 7: Lok B L 1 57° - L 7 60,1°; Lok C L 1 61,9° - L 7 67,2° (Abb. 58).

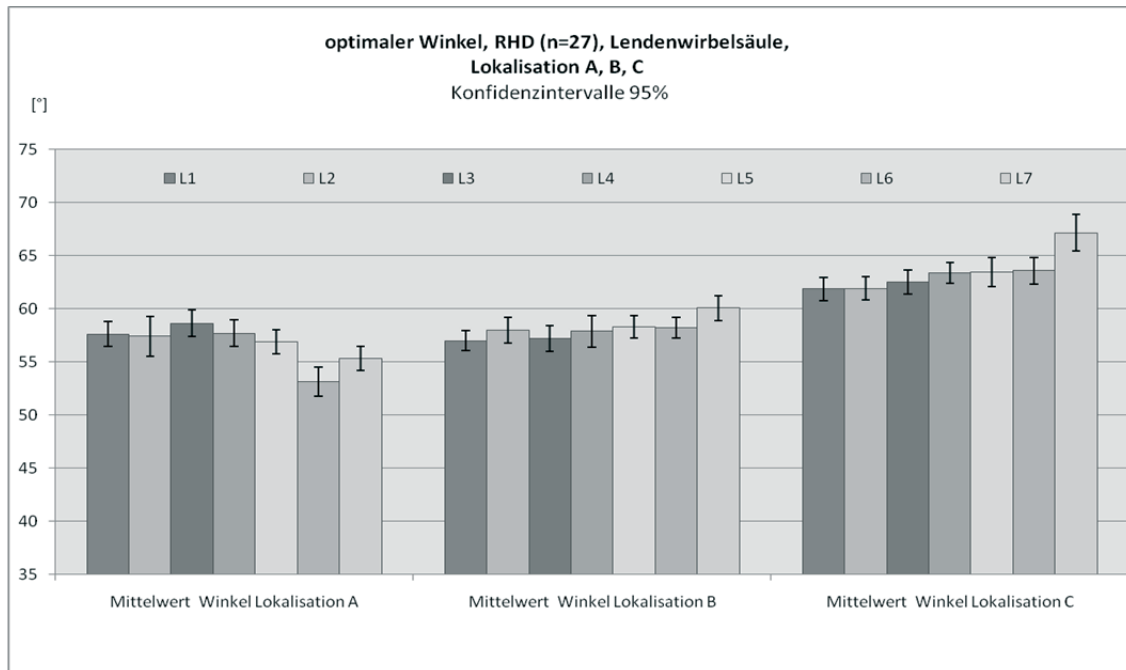


Abbildung 58: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule des Rauhaardackels, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (L 1 – 7), B (L 1 – 7) und C (L 1 – 7)

RHD = Rauhaardackel

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

Haupteffekte Deutscher Schäferhund (DSH):

1. Alle Mittelwerte der Winkel der Lendenwirbelsäule weisen ein Plateau ohne signifikanten Unterschied auf (Abb. 59).
2. Lokalisation C weist einen höheren Mittelwert auf, als Lok A und Lok B (Abb. 59).

Wechselwirkung

Die Interaktion, bzw. Wechselwirkung der Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘ ist ebenso wie bei der Patientengruppe Rauhaardackel an den unterschiedlich ausgeprägten Anstiegen der Mittelwerte der Lendenwirbel an den einzelnen Lokalisationen zu erkennen (Abb. 59).

An Lokalisation A erfolgt ein flacher Abstieg der Mittelwerte von L 1 (54,2°) bis zu L 7 (50,2°). Die Mittelwerte an Lokalisation B nehmen einen sigmoiden Verlauf über L 1 – L 7, zwischen den Mittelwerten von L 6 und L 7 besteht ein signifikanter Unterschied (L 6 55,1°/L 7 58,9°). An Lokalisation C erfolgt, ähnlich wie bei der Gruppe RHD, ein flacher Abstieg der Mittelwerte von L1 (60,1°) bis L 7 (64,5°) (Abb. 59).

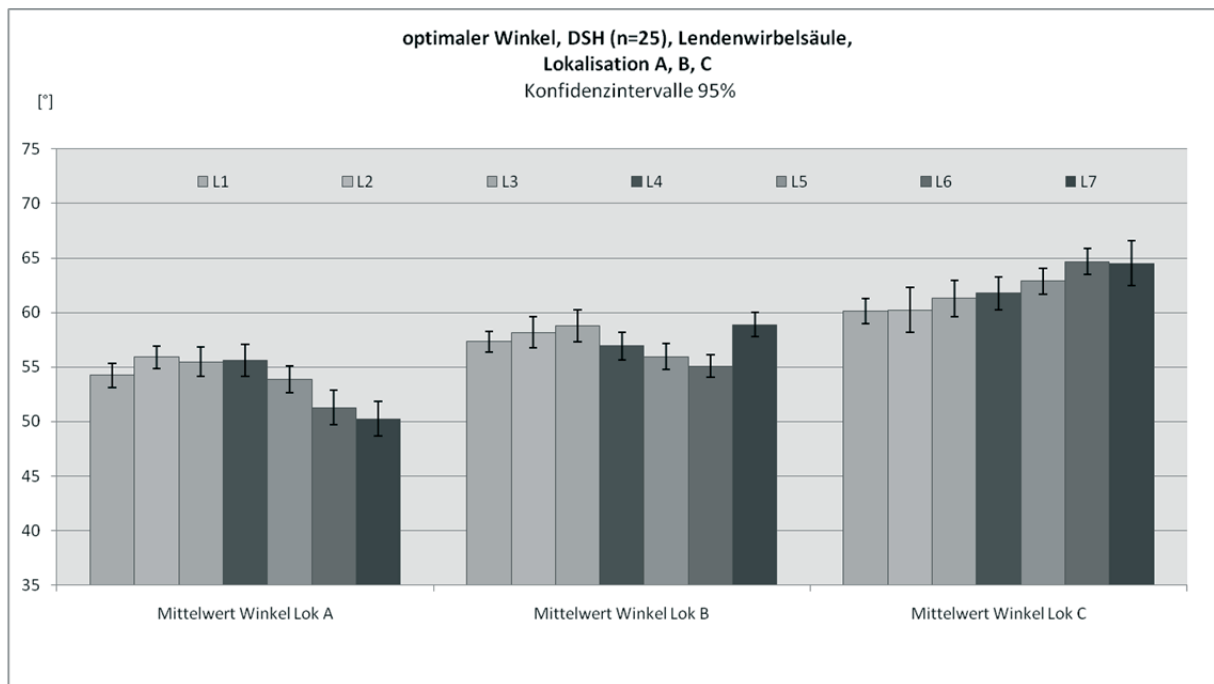


Abbildung 59: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule des Deutschen Schäferhundes, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (L 1 – 7), B (L 1 – 7) und C (L 1 - 7)

DSH = Deutscher Schäferhund

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

Haupteffekte Europäisch Kurzhaarkatze (EKH):

1. Die Mittelwerte der Winkel der Lendenwirbelsäule steigen von L 1 bis L 7 flach an. (Abb. 60).
2. Die Mittelwerte der Winkel an Lok C weisen ein höheres Niveau auf, als die Mittelwerte der Winkel an Lok A (Abb. 60).

Wechselwirkung:

Die Interaktion, bzw. Wechselwirkung der Faktoren ‚Lokalisation‘ und ‚Wirbel‘ ist ebenso wie bei den anderen beiden Patientengruppen an den unterschiedlich ausgeprägten Anstiegen der Mittelwerte der Lendenwirbel an den einzelnen Lokalisationen zu erkennen (Abb. 60).

An Lokalisation A entsteht ein Plateau der Mittelwerte von L 1 bis L 7 (L 1 64,7°, L 4 66,1°, L 7 66,3°). An Lokalisation B kommt es zu einem flachen Anstieg der

Mittelwerte im Verlauf von L 1 ($64,8^\circ$) bis zu L 7 ($71,8^\circ$). An Lokalisation C entsteht ein Plateau der Mittelwerte im Bereich von L 1 ($66,5^\circ$) bis zu L 6 ($66,5^\circ$); an L 7 kommt es zu einem sprunghaften Anstieg des Mittelwertes auf $71,4^\circ$ (Abb. 60).

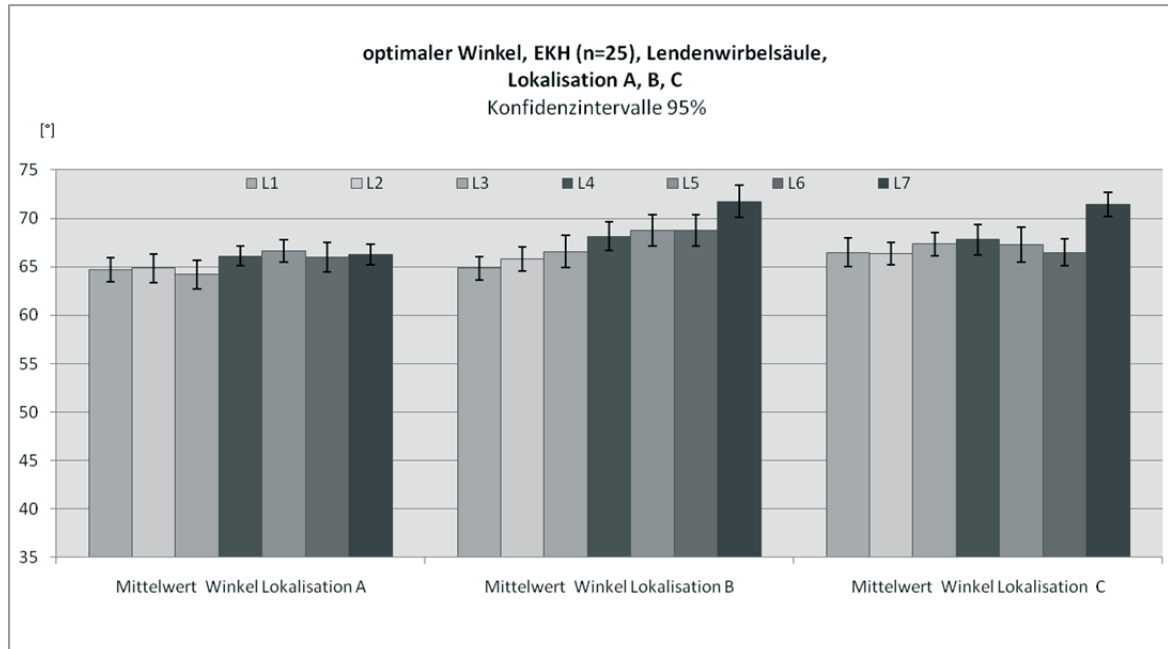


Abbildung 60: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule der Europäisch Kurzhaarkatze, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C

y-Achse: Winkel in Grad ($^\circ$)

x-Achse: Mittelwerte der Winkel an Lok A (L 1 – 7), B (L 1 – 7) und C (L 1 - 7)

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

L = Lendenwirbel

Lok = Lokalisation

n = Gruppengröße

I = Konfidenzintervall

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

4.7.1 Überblick über Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Patientengruppen

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Haupteffekte und Wechselwirkungen werden die Ergebnisse für die einzelnen Patientengruppen in den Tabellen 6, 7 und 8 zusammengefasst.

In diesen Tabellen werden die Minimalwerte (Min) und Maximalwerte (Max) der Mittelwerte für die Lokalisationen und Wirbelgruppen aufgeführt. Die Wirbelgruppen der Brustwirbelsäule (Th 1 – 3; Th 4 – 10; Th 11 – 13) werden aus dem Haupteffekt des Faktors Wirbel (der Badewannenkurve) abgeleitet.

Die Zusammenführung der beiden Lokalisationen A und B in der Brustwirbelsäule beruht auf dem Haupteffekt des Faktors ‚Lokalisation‘.

Die Wechselwirkungen im Bereich der Brustwirbelsäule führen zu der Ergebnisdarstellung über alle drei Lokalisationen (A, B und C).

Die Angabe eines Mittelwertes über die gesamte Brust- oder Lendenwirbelsäule hätte aus den oben genannten Gründen nur einen sehr begrenzten praktischen Aussagewert, da die signifikanten Effekte der Wirbel und Lokalisationen hierdurch überdeckt würden.

Rauhaardackel:

Die Minimal- und Maximalwerte des Mittelwerts der Patientengruppe ‚Rauhaardackel‘ reichen in der Brustwirbelsäule von 41,5° - 64,6°. Die Minimal- und Maximalwerte in der Lendenwirbelsäule reichen von 53,2° - 67,2°.

An Lokalisation A und B werden in der Brustwirbelsäule Werte zwischen 41,5° und 63,0° im Mittelwert ermittelt. An Lokalisation C werden Minimalwerte von 50,0° und Maximalwerte von 64,6° ermittelt (Tab.6).

RHD - Zusammenfassung der Ergebnisse (optimaler Winkel)							
BWS				LWS			
	Lok A und B	Lok C			Lok A	Lok B	Lok C
Wirbel	Min/Max [°]	Min/Max [°]		Wirbel	Min/Max [°]	Min/Max [°]	Min/Max [°]
Th1 -3	46,9-63,0	57,2-64,6		L1-7	53,2-57,6	57,0-60,1	61,9-67,2
Th4-10	41,5-44,8	50,0-57,1					
Th11-13	47,6-58,3	55,7-61,3					

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse für den optimalen Implantationswinkel beim Rauhaardackel. In der linken Spalte sind die Minimal- und Maximalwerte der Brustwirbelsäule zusammengefasst. In der rechten Spalte die Werte der Lendenwirbelsäule.

RHD = Rauhaardackel

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

Lok = Lokalisation

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

Min = Minimalwert

Max = Maximalwert

Deutscher Schäferhund:

Die Minimal- und Maximalwerte des Mittelwerts der Patientengruppe ‚Deutscher Schäferhund‘ reichen in der Brustwirbelsäule von 37,2° - 61,9°. Die Minimal- und Maximalwerte in der Lendenwirbelsäule reichen von 50,2° - 64,7°.

An Lokalisation A und B werden in der Brustwirbelsäule Werte zwischen 37,2° und 61,0° im Mittelwert ermittelt. An Lokalisation C werden Minimalwerte von 47,9° und Maximalwerte von 61,8° ermittelt (Tab. 7).

DSH - Zusammenfassung der Ergebnisse (optimaler Winkel)							
BWS				LWS			
	Lok A und B	Lok C			Lok A	Lok B	Lok C
Wirbel	Min/Max [°]	Min/Max [°]		Wirbel	Min/Max [°]	Min/Max [°]	Min/Max [°]
Th1-3	43,2-61,0	52,7-61,9		L1-7	50,2-55,9	55,1-58,9	60,1-64,7
Th4-10	37,2-41,4	47,9-53,4					
Th11-13	43,5-53,4	56,6-59,7					

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse für den optimalen Implantationswinkel beim Deutschen Schäferhund. In der linken Spalte sind die Minimal- und Maximalwerte der Brustwirbelsäule zusammengefasst. In der rechten Spalte die Werte der Lendenwirbelsäule.

DSH = Deutscher Schäferhund

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

Lok = Lokalisation

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

Min = Minimalwert

Max = Maximalwert

Europäisch Kurzhaarkatze:

Die Minimal- und Maximalwerte des Mittelwerts der Patientengruppe ‚Europäisch Kurzhaarkatze‘ reichen in der Brustwirbelsäule von 44,6° - 66,7°. Die Minimal- und Maximalwerte in der Lendenwirbelsäule reichen von 64,2° - 71,4°.

An Lokalisation A und B werden in der Brustwirbelsäule Werte zwischen 44,6° und 66,7° im Mittelwert ermittelt. An Lokalisation C werden Minimalwerte von 56,4° und Maximalwerte von 65,6° ermittelt (Tab. 8).

EKH - Zusammenfassung der Ergebnisse (optimaler Winkel)							
BWS				LWS			
	Lok A und B	Lok C			Lok A	Lok B	Lok C
Wirbel	Min/Max [°]	Min/Max [°]		Wirbel	Min/Max [°]	Min/Max [°]	Min/Max [°]
Th1 -3	49,6-66,7	61,8-65,2		L1-7	64,2-66,6	64,8-71,8	66,5-71,4
Th4-10	44,6-50,1	56,4-60,5					
Th11-13	54,1-61,9	60,1-65,6					

Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse für den optimalen Implantationswinkel bei der Europäisch Kurzhaarkatze. In der linken Spalte sind die Minimal- und Maximalwerte der Brustwirbelsäule zusammengefasst. In der rechten Spalte die Werte der Lendenwirbelsäule.

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

Lok = Lokalisation

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

Min = Minimalwert

Max = Maximalwert

4.7.2 Vergleich der Patientengruppen untereinander

Die Mittelwerte der einzelnen Patientengruppen werden in den Abbildungen 61 und 62 für jeden Wirbel als Balken dargestellt. Für die Lokalisationen A und C wurden die jeweiligen Wirbel der Brust- und Lendenwirbelsäule nebeneinander aufgeführt, um die Wirbel einem direkten Vergleich unterziehen zu können. Da die Lokalisationen A und B keine nennenswerten Unterschiede untereinander zeigen, werden ausschließlich die Lokalisationen A und C graphisch dargestellt (Abb. 61 und 62).

Die Mittelwerte der Implantationswinkel sind bei der Patientengruppe EKH über alle Lokalisationen höher als die des Schäferhundes und des Rauhaardackels. An den Lokalisationen A und B betragen die Differenzen zwischen 3° und 16°, wobei die höchsten Differenzen zwischen den Spezies Hund und Katze in der Lendenwirbelsäule auftreten (Abb. 61).

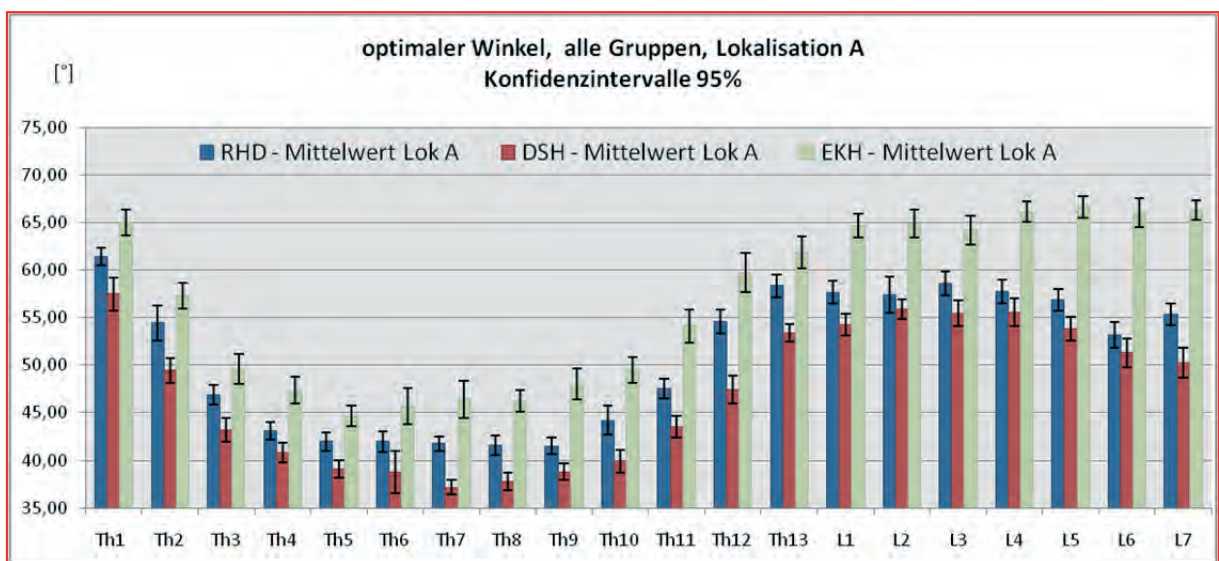


Abbildung 61: Balkendiagramm zur Darstellung der optimalen Implantationswinkel in der Brust- und Lendenwirbelsäule an der Lokalisation A; Vergleich aller Patientengruppen

y-Achse: Winkel in Grad (°)

x-Achse: Brustwirbel 1 – 13; Lendenwirbel 1 - 7

RHD = Rauhaardackel

DSH = Deutscher Schäferhund

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

Lok = Lokalisation

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

I = Konfidenzintervall

An der Lokalisation C sind die Unterschiede der Mittelwerte zwischen den Patientengruppen niedriger. Die Mittelwerte der Patientengruppe EKH sind ca. 1° - 10° höher als die der beiden Hunderassen. Die höchsten Differenzen treten, im Gegensatz zu den Lokalisationen A und B, an der Brustwirbelsäule auf (Abb. 62).

Die Mittelwerte der Patientengruppe RHD liegen an Lokalisation A und B zwischen $1,5^\circ$ - 5° höher als die der Patientengruppe DSH. An Lokalisation C sind die Mittelwerte der Patientengruppe Deutscher Schäferhund nur im Bereich der Brustwirbelsäule signifikant um ca. 1° - 5° höher. Im Bereich der Lendenwirbelsäule treten keine signifikanten Unterschiede auf (Abb. 62).

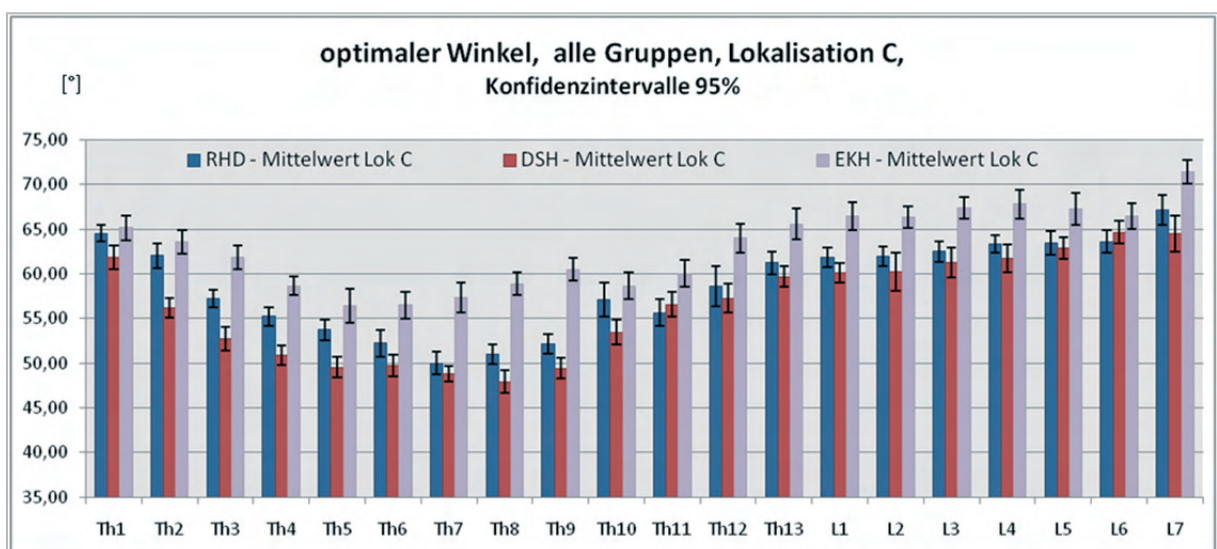


Abbildung 62: Balkendiagramm zur Darstellung der optimalen Implantationswinkel in der Brust- und Lendenwirbelsäule an der Lokalisation C; Vergleich aller Patientengruppen

y-Achse: Winkel in Grad ($^\circ$)

x-Achse: Brustwirbel 1 – 13; Lendenwirbel 1 - 7

RHD = Rauhaardackel

DSH = Deutscher Schäferhund

EKH = Europäisch Kurzhaarkatze

Lok = Lokalisation

Th = Brustwirbel

L = Lendenwirbel

I = Konfidenzintervall

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mit Hilfe von computertomographischen Vermessungen der Brust- und Lendenwirbelsäule beim Rauhaardackel, Deutschen Schäferhund und bei der Europäisch Kurzhaarkatze einen Leitwert für den optimalen Winkel von Knochenimplantaten bei der chirurgischen Versorgung von Wirbelfrakturen und -luxationen zu ermitteln. Hierbei wurden sowohl die einzelnen Gruppen, die jeweiligen Wirbel als auch drei verschiedene Lokalisationen innerhalb eines Wirbels miteinander verglichen.

5.1 Notwendigkeit der Ermittlung eines sicheren Implantationswinkels

Die chirurgischen Therapiemethoden für eine Fraktur, bzw. Luxation der Wirbelsäule werden nach wie vor diskutiert, da es keine klare Definition bezüglich der Indikationen für eine bestimmte Operationstechnik gibt (MCKEE 1998; CABASSU und MOISSONNIER 2005). Für die chirurgische Versorgung von Wirbelfrakturen und -luxationen ist eine Vielzahl von Operationsmethoden beschrieben (MATTHIESEN 1983; MCANULTY et al. 1986; PATTERSON und SMITH 1992; WHEELER et al. 2002; WHEELER et al. 2007; CORLAZZOLI 2008; MCKEE und DOWNES 2008). Eine Implantation in die Pedikel, wie in der Humanmedizin beschrieben (VACCARO et al. 1995; VACCARO et al. 1995), ist aus anatomischen Gründen nicht möglich, da im Vergleich zum Menschen die Pedikel bei Hund und Katze nicht annähernd senkrecht zum Wirbel verlaufen, sondern Richtung Lamina dorsalis schräg zulaufen. Zudem bieten die Pedikel bei Hund und Katze bei weitem nicht genügend knöchernes Material, um ein Implantat einzusetzen. Daher bleibt lediglich die Platzierung der Implantate in den Wirbelkörper der benachbarten gesunden Wirbel (WHEELER 2007, CORLAZZOLI 2008, McKEE und DOWNES 2008).

In einer computertomographischen Studie von WATINE und Mitarbeitern (2006) ermitteln die Autoren nicht nur einen optimalen Implantationswinkel für die Wirbel C 2 – C 7 und Th 10 – S 1, sondern haben auch die Entfernung der Aorta, bzw. V. azygos zum Wirbelkörper gemessen. Die rechtslateral der Wirbelsäule liegende V. azygos liegt als eine der Hauptstrukturen den Wirbelkörpern am engsten an - im Bereich von Th 10 – 13 wurde in 63% der untersuchten Wirbel ein Abstand von \leq

1mm gemessen. Die Aorta liegt laut den Autoren den Wirbelkörpern am zweitnächsten an (1mm – 10,9mm Abstand vom ventralen Anteil des Wirbelkörpers). In der vorliegenden Arbeit werden die Abstände der Gefäße nicht vermessen, da die Studie von WATINE und Mitarbeitern (2006) hierzu ausreichend Daten liefert. Als sicherer Implantationswinkel wird in der vorliegenden Arbeit derjenige Winkel definiert, der dem Implantat zu beiden Seiten genügend Knochengewebe bietet. Daher wird, im Gegensatz zu anderen Studien (WONG und EMMS 1992; WATINE et al. 2006), nicht die ventrale Gegenkortikalis des jeweiligen Wirbelkörpers als Austrittsort des Implantates angenommen. Als definierter Punkt mit allseits gleich viel vorhandenem Knochengewebe wird der Mittelpunkt des Wirbelkörpers angesehen, auf welchen die Implantate zielen sollen. Ein Eintritt der Implantate in die Gegenkortikalis ist in der vorliegenden Arbeit in erster Linie nicht erwünscht, da für die chirurgische Versorgung von Wirbelfrakturen immer häufiger Verriegelungsplatten (z. B. SOP-Platten) eingesetzt werden (BERGMANN et al. 2008; MCKEE und DOWNES 2008; DICKOMEIT et al. 2011). Aufgrund der sogenannten Kragarmfunktion dieser Implantate weisen sie schon bei monokortikaler Implantation eine hohe Implantatsicherheit auf, weshalb das Erreichen der Gegenkortikalis zur Erhöhung der Stabilität und Implantatsicherheit nicht mehr nötig ist (NESS 2009).

Im weiteren wäre ein Austritt auf der ventralen Seite des Wirbelkörpers bei einer Implantation in Richtung Mittelpunkt des Wirbelkörpers nicht wahrscheinlich – die Implantate würden im Fall der vorliegenden Studie eher die ventro-laterale Gegenkortikalis erreichen. Die klare Definition des Zielortes ‚Wirbelkörpermitte‘ für die Implantation von Schrauben oder Pins erklärt auch die Unterschiede der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu anderen Studien, in denen zum Teil deutlich niedrigere Winkel zur chirurgischen Versorgung von Instabilitäten der Brust- und Lendenwirbelsäule beim Hund empfohlen werden (WONG und EMMS 1992; WHEELER 2002; WATINE 2006).

Ein weiterer Grund für die Notwendigkeit, einen optimalen Implantationswinkel zu ermitteln, besteht darin, dass in der Literatur ein direkter anatomischer Vergleich zwischen Hund und Katze bezüglich der Form und Größe der einzelnen Wirbel fehlt. Für die chirurgische Versorgung von Instabilitäten der Wirbelsäule mittels Verplattung der Wirbelkörper oder einem Fixateur interne, bzw. externe wäre es

daher erstrebenswert, weitere Studien bezüglich der vergleichenden Anatomie der Wirbelsäulen von Hund und Katze durchzuführen.

Eine Richtlinie für einen sicheren Implantationswinkel existiert in der Veterinärmedizin derzeit nicht (WHEELER 2002). Für die Lendenwirbelsäule empfehlen WHEELER und Mitarbeiter (2002) einen Implantationswinkel von 30°, orientiert an der Horizontalebene bei ventraler Lagerung des Patienten. (In der vorliegenden Studie erfolgt die Orientierung an der Vertikalebene, womit der von WHEELER und Mitarbeitern (2002) empfohlene Winkel einem Implantationswinkel von 60° entspräche). WHEELER und Mitarbeiter (2002) weisen darauf hin, dass die Implantation der Pins unter Durchleuchtung wesentlich präziser möglich ist als mittels offenem Zugang zur Wirbelsäule. Jedoch betonen die Autoren, dass der gemessene Winkel von 30° ausschließlich für die Lendenwirbelsäule gilt; für die Brustwirbelsäule ist er nicht zu empfehlen, da es zu iatrogenen Verletzungen der Lunge, der Aorta oder der V. azygos kommen kann (LUDDERS et al. 1998). Außerdem besteht bei einer fehlerhaften Implantation die Gefahr, das Rückenmark zu verletzen, was für ein bereits traumatisch vorgeschädigtes Myelon eine infauste Prognose bedeuten kann. In der vorliegenden Arbeit werden für die Lendenwirbel der drei Patientengruppen Minimalwerte von 50,2° (DSH, Lok A) sowie Maximalwerte von 71,8° (EKH, Lok B) gemessen. Im Vergleich zur Studie von WHEELER und Mitarbeitern (2002) beträgt die Differenz zwischen den ermittelten Werten somit jeweils ca. 10°. Für die Wirbel der Brustwirbelsäule sowie die ersten beiden Lendenwirbel beschreiben LANZ und Mitarbeiter (2000) einen Implantationswinkel von 45° (orientiert an der Vertikalebene bei ventraler Lagerung des Patienten) im Zuge einer chirurgischen Versorgung mittels Fixateur externe an drei Patienten. In der vorliegenden Studie dagegen werden für die Brustwirbel der drei Patientengruppen Minimalwerte von 37,2° (DSH, Lok A) sowie Maximalwerte von 65,6° gemessen (EKH, Lok C). Dies entspricht einer Differenz zum empfohlenen Winkel von 45° von 8°, bzw. > 20°. Die vorliegende Arbeit legt daher den Schluss nahe, dass eine einheitliche Angabe von optimalen Implantationswinkeln nicht zu empfehlen ist, da der Implantationswinkel nicht nur vom Wirbel selbst abhängig ist, sondern auch signifikant durch die Lokalisation der Implantation beeinflusst wird – im Bereich der kaudalen Endplatte (Lokalisation C) werden grundsätzlich höhere Winkel gemessen, als an den Lokalisationen A und B. Die Studien von LANZ (2000) und WHEELER (2002) ist gemein, dass die Patientengruppen relativ klein sind und gleichzeitig keine deutliche Homogenität

hinsichtlich Rasse, bzw. Körpergröße aufweisen. Der klare Vorteil beider Studien ist der Aspekt der praktischen Durchführung - in beiden Arbeiten werden chirurgisch Implantate in den Wirbelkörper verbracht und im Anschluss wird eine computertomographische Kontrolle durchgeführt (LANZ et al. 2000; WHEELER et al. 2002). Aufgrund der Tatsache, dass nur Patienten mit knöchern unveränderten Wirbelsäulen mit in die vorliegende Arbeit einbezogen werden, kann aufgrund der fehlenden Indikation keine chirurgische Implantation und computertomographische Kontrolle der Ergebnisse erfolgen. Für die Halswirbelsäule hat CORLAZZOLI (2008) eine computertomographische Studie für einen optimalen Implantationswinkel an Dobermann-Pinschern mit einer kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie durchgeführt. Das Patientengut dieser Studie ist zwar ebenfalls relativ klein ($n = 9$), jedoch durch die strikte Rasseauswahl sehr homogen. CORLAZZOLI (2008) kann in dieser Studie nachweisen, dass die Implantationswinkel von 30° , 35° und 45° im Bereich der kaudalen Halswirbelsäule keine genügende Sicherheit bieten; in der computertomographischen Simulation werden nur 42 – 67% der Implantationen als sicher anerkannt. Der Autor weist außerdem darauf hin, dass anatomische Unterschiede nicht nur zwischen einzelnen Wirbeln der Halswirbelsäule bestehen, sondern auch innerhalb eines Wirbels morphologische Divergenzen auftreten (CORLAZZOLI 2008). Da Studien für die Brust- und Lendenwirbelsäule hierzu fehlen, werden die computertomographischen Messungen in der vorliegenden Arbeit an drei unterschiedlichen Lokalisationen vorgenommen, in der Annahme dass sich die Diameter auch in diesen Wirbelsäulenabschnitten innerhalb eines einzelnen Wirbels verändern. Die Ergebnisse zeigen, dass die optimalen Implantationswinkel im kaudalen Anteil des Wirbelkörpers bei allen drei untersuchten Gruppen höhere Mittelwerte aufwiesen, als in den kranialen und mittleren Wirbelkörperanteilen.

5.2 Studiendesign

5.2.1 Patientengut

Die Auswahl der Patienten erfolgt in der Annahme, dass die Morphologie der Wirbelsäule sich nicht nur speziesspezifisch (zwischen Hund und Katze) unterscheidet, sondern auch interspeziesspezifische Unterschiede bestehen (Rauhaardackel/Deutscher Schäferhund).

Rauhaardackel:

Als achondroplastische Rasse wird der Rauhaardackel ausgewählt. Um eine größtmögliche Präzision bezüglich der untersuchten Parameter zu gewährleisten, wird auf das Hinzuziehen anderer Dackelrassen (Langhaardackel, Kurzhaardackel) ebenso verzichtet, wie auf andere Zwergrassen (Zwergpudel, Pekinese, Beagle, etc.). Auch Rassen mit einem hypophysären Zwergwuchs (z.B. Chihuahua) werden nicht mit in die Studie einbezogen, da davon ausgegangen wird, dass die Wirbeldiameter dieser Rassen sich von denen der achondroplastischen Tiere unterscheiden. Eine vergleichende Studie bezüglich eventueller Unterschiede in der Morphologie der Wirbelsäulen von achondroplastischen Rassen und Rassen mit hypophysärem Zwergwuchs fehlt und sollte Ziel weiterer Studien sein.

Deutscher Schäferhund:

Der Deutsche Schäferhund zählt zu den großwüchsigen Hunderassen. Zulasten der Anzahl der Patienten wird in der durchgeführten Studie auf die Untersuchung anderer großwüchsiger Rassen (Labrador Retriever, Berner Sennenhund, etc.) verzichtet, um im untersuchten Patientengut eine größtmögliche Homogenität zu erlangen.

Europäisch Kurzhaarkatze:

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen existieren nach Wissen der Autorin keine anatomisch-morphologischen Vergleichsstudien zwischen den Wirbelsäulen von Europäisch Kurzhaarkatzen und anderen Rassekatzen (Norwegische Waldkatze, Perserkatze, etc.). Aufgrund der Inhomogenität der Körpergröße der verschiedenen Katzenrassen sowie aufgrund des Fehlens von Studien bezüglich der Morphologie der Wirbelsäule unterschiedlicher Katzenrassen wird daher auf das Hinzuziehen von Patienten anderer Rassen verzichtet.

Die Gruppe der untersuchten Tiere stellt mit 77 Patienten eine vergleichsweise geringe Gruppengröße dar. Um eine präzise Aussage bezüglich der untersuchten Faktoren treffen zu können, liegt jedoch das Hauptaugenmerk auf einer größtmöglichen Homogenität der Gruppen, die durch die strikte Auswahl der Patienten erreicht werden kann.

Im Hinblick auf das Alter der Patienten besteht zwar eine Heterogenität, diese macht für die vorliegende Arbeit jedoch keine Restriktionen zur statistischen Auswertung notwendig, da ausschließlich adulte Tiere untersucht werden, bei denen das Längenwachstum der Wirbelsäule somit abgeschlossen ist. In der statistischen Auswertung können keine signifikanten Unterschiede, bzw. Wechselwirkungen zwischen den Faktoren ‚Geschlecht‘ und ‚Winkel‘ ermittelt werden, weshalb dieser Aspekt in der Auswertung der Untersuchungen nicht berücksichtigt wird.

5.2.2 Ausschlusskriterien

Neben den oben genannten Rassekriterien zählen alle pathologischen Veränderungen der Wirbelsäule, die eine exakte Vermessung der Wirbeldiameter unmöglich machen würden zu den Ausschlusskriterien. Hierzu gehören Erkrankungen der knöchernen Wirbelsäule, wie z.B. Spondylosis deformans, Diskospondylitis oder Wirbelfrakturen und -luxationen. Die untersuchten Rauhaardackel sind sämtlich Patienten mit dem Verdacht auf einen Bandscheibenvorfall Hansen Typ I (HANSEN 1951) im Bereich Th 3 – L 3. Nach der CT Untersuchung werden nur diejenigen Patienten mit in die Studie einbezogen, bei denen die Art und Lokalisation des Bandscheibenvorfalles nicht die Vermessung der Wirbeldiameter beeinträchtigt.

5.2.3 Bildgebendes Verfahren

In der Humanmedizin sind nach SAIFUDDIN und Mitarbeitern (1996) sowohl die CT als auch die MRT für die Diagnostik von Wirbelfrakturen und -luxationen unverzichtbar. In der Veterinärmedizin steht die CT mittlerweile weit verbreitet zur Verfügung und stellt ein sicheres Schnittbildverfahren für die exakte Darstellung von Läsionen der knöchernen Wirbelsäule von Hund und Katze dar (JONES et al. 1994).

Knochenfragmente, Frakturen der Facettengelenke und intramedulläre Blutungen können durch die CT zuverlässig diagnostiziert werden (TIDWELL et al. 1994). GRIFFEN und Mitarbeiter (2003) ermitteln in einer Studie eine Sensitivität für die Detektion ossärer Läsionen der Wirbelsäule mittels CT von bis zu 100%. Trotzdem die Magnetresonanztomographie nach SAIFUDDIN und Mitarbeitern (1996) für die Diagnostik von Wirbelfrakturen ebenso gut geeignet ist wie die Computertomographie, wird in der vorliegenden Arbeit eine rein computertomographische Ermittlung der Winkel durchgeführt. Ein Vorteil der CT ist unter anderem die deutlich verkürzte Untersuchungs- und Anästhesiedauer im Vergleich zur MRT. Daher werden in der Veterinärmedizin Frakturen und Luxationen der knöchernen Wirbelsäule bedeutend häufiger in der CT als in der MRT untersucht. Ein Ziel der Arbeit ist es, dem praktizierenden Chirurgen ein einfach durchzuführendes Schema zur präoperativen Vermessung der Wirbeldiameter an die Hand zu geben. Aus den oben genannten Gründen erscheint eine magnetresonanztomographische Studie daher nicht sinnvoll.

5.2.4 Lagerung der Patienten

Die Lagerung der Patienten erfolgt immer in Brust-Bauch-Lage mit nach kranial gestreckten Vordergliedmaßen. Bei den Deutschen Schäferhunden erfolgt zusätzlich eine Stabilisation mittels seitlich der Brustwand angelegten Schaumstoffkissen zur Gewährleistung einer symmetrischen Positionierung. Ist eine symmetrische Lagerung nur bedingt möglich (z. B. bei den post mortem untersuchten Katzen, bei denen bereits der Rigor mortis eingesetzt hat), werden die einzelnen Wirbel an der Philips Workstation über die korrekte Einstellung der drei zur Verfügung stehenden Ebenen für die Messungen ausgerichtet. Eine nicht symmetrische Lagerung hat somit keinen Einfluss auf die Durchführung und Auswertung der Untersuchung.

5.2.5 Genauigkeit der Messungen

Die computertomographischen Untersuchungen erfolgen immer durch dieselbe Person (die Autorin) und immer an derselben Philips Workstation. Durch die Definition der drei Lokalisationen sowie die Definition dreier festgelegter Messpunkte kann eine ausreichend genaue Bestimmung des optimalen Winkels gewährleistet werden. Die Messungen der Wirbeldiameter werden in Zentimetern (cm) vorgenommen und als Dezimalzahlen auf eine Stelle hinter dem Komma gerundet. Die Messungen der Winkel werden in Grad (°) vorgenommen und die Werte werden in ganzen Zahlen angegeben. Eine Angabe der Winkel als Dezimalzahlen erscheint nicht sinnvoll, da im Operationssitus eine Bestimmung des Implantationswinkels als Dezimalzahl nicht möglich und auch nicht nötig ist. Falls intra operationem eine Messlehre hinzugezogen wird, erübrigt sich diese Frage ebenfalls, da die handelsüblichen Messlehren die Winkel nur als ganze Zahlen angeben.

Die Konfidenzintervalle der statistischen Auswertungen werden auf 95% festgelegt. Es stellt sich die Frage, ob ein Konfidenzintervall von 95% ausreicht, um eine hinreichende Sicherheit der Implantation zu gewährleisten. Niedrigere Konfidenzintervalle wären zwar durch die Erhöhung der Stichprobenumfänge möglich gewesen. Im Rahmen der statistischen Auswertungen wird jedoch ermittelt, dass die Konfidenzintervalle für den Rauhaardackel und Deutschen Schäferhund im Mittel bei 1,21° liegen, für die Katze bei 1,46°. Das bedeutet, dass bei den für den Rauhaardackel ermittelten Mittelwerten bei einer Schwankungsbreite von $\pm 2,24^\circ$ noch eine sichere Implantation möglich ist. Für den Schäferhund wird eine Schwankungsbreite von $\pm 2,17^\circ$ und für die Europäische Kurzhaarkatze eine Schwankungsbreite von $\pm 2,37^\circ$ berechnet. Aus chirurgischer Sicht ist somit das Konfidenzintervall von 95% ausreichend, da intra operationem eine Veränderung der Winkelgröße erst ab ca. 5° als solche erkannt wird. Von genaueren Messungen, bzw. einer Erhöhung der Konfidenzintervalle wird aus diesen Gründen abgesehen.

5.3 Schlussfolgerungen aus der Ermittlung der optimalen Implantationswinkel

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen, dass eine direkte Übertragung der empfohlenen Implantationswinkel vom Hund auf die Katze nicht zu empfehlen ist, da die Katze über die gesamte Brust- und Lendenwirbelsäule signifikant höhere Mittelwerte der optimalen Implantationswinkel zeigt. Zwischen den Rassen Deutscher Schäferhund und Rauhaardackel bestehen zwar Unterschiede bezüglich eines sicheren Implantationswinkels (die ermittelten Winkel beim Dackel sind bis auf wenige Ausnahmen höher, als die der Gruppe DSH), jedoch sind diese Unterschiede nur selten signifikant.

Die Größe des Implantationswinkels muss außerdem abhängig von der Lokalisation der Fraktur/Luxation gewählt werden; so werden die höchsten Werte in der kranialen Brustwirbelsäule sowie in der kaudalen Brustwirbelsäule gemessen. Ab der Lendenwirbelsäule steigen die mittleren Implantationswinkel kontinuierlich an.

Die Lokalisationen A und B unterscheiden sich hinsichtlich der sicheren Implantationswinkel kaum voneinander, wohingegen an Lokalisation C bei allen Patientengruppen signifikant höhere Mittelwerte als an Lok A und B gemessen werden. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass nicht nur zwischen den Tierarten, sondern auch nach Lokalisation des Wirbels und letztlich auch nach Lokalisation des Implantates entschieden werden muss, wie groß der Implantationswinkel gewählt werden sollte.

Eine Limitation der vorliegenden Arbeit ist, dass es sich um eine rein computertomographische Simulation handelt und kein klinischer Teil durchgeführt wird, da hierfür keine medizinische Indikation besteht. Es wäre daher erstrebenswert, für die Brust- und Lendenwirbelsäule von Hund und Katze eine computertomographische Studie mit Messung des optimalen Implantationswinkels durchzuführen, bei der im Anschluss eine chirurgische Versorgung der Fraktur/Luxation stattfindet. Im Weiteren wäre zu eruieren, inwieweit die computertomographischen Ergebnisse mit denen der chirurgischen Versorgung übereinstimmen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit können signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Faktoren bezüglich der Variable ‚Winkel‘ nachgewiesen werden. Eine einheitliche Richtlinie zur Implantation von Schrauben oder Pins in den Wirbelkörper kann mit den Ergebnissen der Studie nicht geliefert werden, hierfür fehlen

Untersuchungen an anderen Hunde- und Katzenrassen. Für die untersuchten Gruppen DSH, RHD und EKH kann jedoch eine Empfehlung hinsichtlich der Prädilektionsstelle für Wirbelfrakturen und –luxationen (thorakolumbaler Übergang) gegeben werden. Letztlich stellt die vorliegende Arbeit noch einmal heraus, dass eine computertomographische Untersuchung der Wirbelsäule vor einer chirurgischen Intervention unerlässlich ist: nicht nur zur Charakterisierung der vorhandenen Fraktur/Luxation, sondern gleichzeitig zur Vermessung der Wirbeldiameter und Implantationswinkel.

6 Zusammenfassung

Die chirurgische Versorgung von Wirbelfrakturen und -luxationen der Brust- und Lendenwirbelsäule von Hund und Katze stellt für den behandelnden Tierarzt eine besondere Herausforderung dar. Implantationen von Pins oder Schrauben in den Wirbelkörper bergen sowohl die Gefahr einer iatrogenen Verletzung des Rückenmarks als auch die Gefahr einer Penetration von großen Gefäßen (V. azygos, Aorta), bzw. des Lungenparenchyms.

Weder für den Hund noch für die Katze existieren einheitliche Vorgaben bezüglich eines sicheren oder optimalen Implantationswinkels in den Wirbelkörper. Daher war das Ziel der vorliegenden Arbeit die Ermittlung eines sicheren, bzw. optimalen Implantationswinkels für die Brust- und Lendenwirbelsäule bei Hund und Katze.

Für die vorliegende Studie wurden 27 Rauhaardackel, 25 Deutsche Schäferhunde und 25 Europäisch Kurzhaarkatzen einer computertomographischen Untersuchung der Wirbelsäule unterzogen. Im Anschluss wurden die Wirbeldiameter im Transversalschnitt an drei Lokalisationen vermessen: kaudal der kranialen Endplatte (Lok A), in der Mitte des Wirbels (Lok B) und kranial der kaudalen Endplatte (Lok C). Die Messung an diesen drei Lokalisationen wurde vorgenommen, um zu evaluieren, ob innerhalb eines einzelnen Wirbels unterschiedliche optimale Implantationswinkel existieren. Bestimmt wurden der vertikale Durchmesser des Wirbelkörpers, die Mitte des Wirbelkörpers und der optimale Implantationswinkel. Als optimal, bzw. sicher galt der Winkel, wenn das Implantat an der dünnsten Stelle des Wirbels (Pedikel) von allen Seiten von gleich viel Knochen umgeben war. Zusätzlich sollte das Implantat einen größtmöglichen Abstand zum Wirbelkanal aufweisen, um eine iatrogene Verletzung des Rückenmarks intra operationem zu vermeiden.

Es wurden hinsichtlich der Tierarten signifikante Unterschiede ermittelt. So liegt bei der EKH der Mittelwert des optimalen Implantationswinkels über alle Brustwirbel und Lokalisationen mit $55,1^\circ$ bis zu 16,8% höher, als der Mittelwert der untersuchten Hunderassen. Ein ähnliches Ergebnis wurde für die Lendenwirbelsäule ermittelt: mit $67,0^\circ$ liegt der Mittelwert der EKH bis zu 15,9% höher als die Mittelwerte von DSH und RHD.

Auch bezüglich der einzelnen Wirbel wurden signifikante Unterschiede nachgewiesen; die höchsten Mittelwerte wurden in der kranialen und in der kaudalen Brustwirbelsäule ermittelt (Th 1 $62,9^\circ$; Th 13 $58,6^\circ$), die niedrigsten Mittelwerte

fanden sich im Bereich Th 4 – 9 ($47,9^\circ$ - $45,3^\circ$). Im Hinblick auf die einzelnen Lokalisationen im Wirbelkörper konnte gezeigt werden, dass zwischen Lokalisation A und B keine signifikanten Unterschiede bezüglich eines sicheren Implantationswinkels bestehen. Lokalisation C hingegen zeigt konstant höhere Winkel im Vergleich zu den beiden kranialen Lokalisationen.

Die vorliegende Arbeit kann keine gemeingültige Richtlinie für einen optimalen Implantationswinkel bei Hund und Katze liefern, da weiterführende Studien nötig sind, um eine tierart- und rasseübergreifende Aussage treffen zu können.

Für die drei untersuchten Gruppen jedoch kann eine Empfehlung hinsichtlich des optimalen Winkels im Bereich des thorako-lumbalen Übergangs gegeben werden. Da dies eine Prädilektionsstelle für knöcherne Verletzungen der Wirbelsäule ist, zeigen die Ergebnisse dieser Studie eine hohe klinische Relevanz.

7 Summary

The surgical treatment of vertebral column fractures or luxations in dogs and cats can be a challenge in veterinary medicine. Implantations of screws or pins in the vertebral body can cause iatrogenic damage, e. g. of the myelon, lung parenchyma or of adjacent vessels (V. azygos, aorta). There are no standardized suggestions or guidelines regarding optimal implantation corridors in vertebral bodies. The objective of this study was to determine optimal implantation angle for thoracic and lumbar vertebral bodies in cats and dogs.

The vertebral columns of 27 German wirehaired Dachshunds (WHD), 25 German Shepherd dogs (GSD) and 25 Domestic Shorthair Cats (DSC) were examined using computed tomography (CT). Based on the CT datasets the vertebral diameters were measured at three locations: caudal to the cranial endplate (Loc A), at the center of the vertebral body (Loc B) and cranial to the caudal endplate (Loc C). Vertical diameter, the center of the vertebral body and the optimum implantation angle of every thoracic and lumbar vertebra were determined. The angle was defined as optimal respectively safe when the implant showed a maximum distance to the spinal canal. The implantation corridor was assessed as optimal, when the virtual implant met the center of the vertebra on the one hand and was not in contact with the spinal canal on the other hand.

Significant differences were found regarding the species cat and dog both thoracic and lumbar vertebrae. The arithmetic average over all thoracic vertebrae and all locations for the DSC is up to 16,8% higher than the average of the examined dog breeds (DSC 55,1°, WHD 50,6°, GSD 47,2°). The same effect was found regarding the lumbar vertebrae: the arithmetic mean for the DSC is up to 15,9% higher than the average of the both dog breeds (DSC 67,0°, WHD 59,4°, GSD 57,8°). No significant differences were found between the examined dog breeds WHD and GSD.

Significant differences regarding the several vertebrae of the thoracic spine were found – the arithmetic mean over all three locations of the thoracic spine showed a so called “bathtub graph”: maximum angles were measured at the cranial and caudal thoracic spine while minimum angles were found in the middle of the thoracic spine. The arithmetic average of the angles of all examined species decline from Th 1 – 3 from 62,9° to 50,8°. In the range of Th 4 – 9 angles between 47,9° - 45,3° were

found. From the 10th thoracic vertebra to the 13th thoracic vertebra the angles increase from 48,7° to 58,6°.

Concerning the lumbar vertebrae the arithmetic mean is statistically significant indeed but compared to the thoracic vertebrae they show less distinctions to each other. Contrary to the thoracic spine the lumbar vertebrae show a plateau form with the highest level at L 7 (58,6°).

However the study can't provide a guideline regarding an optimum implantation corridor or safety angle for vertebral bodies for every dog or cat breed. For the prone area of osseous lesions of the spine (Th 10 – L 3) this study can provide an guideline, however just for the three examined groups GSD, DSC and WHD. To transfer these outcomes to other dog or cat breeds further studies are necessary.

8 Literaturverzeichnis

Almlöf J (1961). "On Achondroplasia in the Dog." Zentralblatt für Veterinärmedizin 8(1): 43 -56.

Andersson G, Ed. (1997). The Adult Spine. The epidemiology of spinal disorders. New York.

Badoux D (1977). "Advances in Veterinary Biomechanics." Veterinary Science Communications 1 (1977): 1-15

Bagley R (2000). "Spinal Fracture or Luxation." Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice 30(1): 133-153.

Bali M, Lang J, Jaggy A, Spreng D, Doherr M und Forterre F (2009). "Comparative study of vertebral fractures and luxations in dogs and cats." Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology 1(22): 47-53.

Beaver D, MacPherson G, Muir P und Johnson K (1996). "Methyl-methacrylate and bone screw repair of seventh lumbar vertebral fracture-luxations in dogs." Journal of Small Animal Practice 37(8): 381-386.

Berchthold R und Hamelmann H, Eds. (2008). Chirurgie. Neurochirurgie. München, Urban & Fischer Verlag.

- Bergman R**, Levine J, Coates J, Bahr A, Hettlich B und Kerwin S (2008). "Cervical Spinal Locking Plate in Combination with Cortical Ring Allograft for a One Level Fusion in Dogs with Cervical Spondylotic Myelopathy." *Veterinary Surgery* 37: 530 - 536.
- Berry C** und Thrall D, Eds. (2002). *Textbook of Veterinary Diagnostik Radiology*. Philadelphia, W. B. Saunders
- Blass C** und Seim H (1984). "Spinal Fixation in Dogs Using Steinmann Pins and Methylmethacrylate." *Veterinary Surgery* 13(4): 203-210.
- Bogduk N** (1991). "The lumbar disc and low back pain." *Neurosurg. Clin. N. Am* 2: 791–806.
- Bohley P** (2000). *Statistik: einführendes Lehrbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*. Oldenbourg.
- Braund K**, Ghosh P, Taylor T und Larsen L (1975). "Morphological studies of the canine intervertebral disc. The assignment of the beagle to the achondroplastic classification." *Research in Veterinary Science* 19: 167 - 172.
- Budras K**, Fricke W und Richter R, Eds. (2004). *Atlas der Anatomie des Hundes*. Hannover.
- Cabassu J** und Moissonnier P (2004). Ventral fixation of spinal fractures/luxations at the thoracolumbar junction. 12th ESVOT Congress. Munich.

Cabassu J und **Moissonnier P** (2005). Complications in the Treatment of Spinal Fractures/Luxations. The North American Veterinary Conference. Orlando, Florida.

Cabassu J MP (2007). "Surgical Treatment of a vertebral fracture associated with a haematogenous osteomyelitis in a dog." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 20: 227 - 230.

Corlazzoli D (2008). "Bicortical Implant Insertion in Caudal Cervical Spondylomyelopathy: A Computed Tomography Simulation in Affected Doberman Pinschers." *Veterinary Surgery* 37(2): 178 - 185.

Denis F (1983). "The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries." *Spine* 8: 817-831.

Denny H, Ed. (1991). *A Guide to Canine Orthopaedic Surgery*. Bristol.

Dickomeit M, **Alves M**, **Gorgas D** und **Forterre F** (2011). "Use of a 1,5mm butterfly locking plate for stabilization of atlantoaxial pathology in three toy breed dogs." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 3(24): 246-251.

Dixon W (1993). "BMDP Statistical Software Manual." University of California Press 1 & 2.

Eggers C und **Stahlenbrecher A** (1998). "Injuries of thoracic and lumbar spine." *Der Unfallchirurg* 101(10): 779-790.

Evans H, Ed. (1993). Miller's Anatomy of the Dog. New York.

Feeney D, Fletcher T und Hardy R, Eds. (1991). Atlas of correlative imaging anatomy of the normal dog. Philadelphia.

Fletcher T (1970). "Lumbosacral plexus and pelvic limb myotomes of the dog." American Journal of veterinary research 31: 35 - 41.

Fluehmann G, Doherr M und Jaggy A (2006). "Canine neurological diseases in a referral hospital population between 1989 and 2000 " Journal of Small Animal Practice 47(10): 582-587.

Frewein J und Vollmerhaus B, Eds. (1994). Anatomie von Hund und Katze, Parey Verlag.

Galanksi M und Prokop M (2007). Ganzkörper Computertomographie Georg Thieme Verlag KG.

Göbel F (1953). "Die extradurale Anästhesie bei der Katze." Tierärztliche Umschau 8: 251-254.

Griffen M, Frykberg E, Kerwin A, Schinco M, Tepas J, Rowe K und Abboud J (2003). "Radiographic Clearance of Blunt Cervical Spine Injury: Plain Radiograph or Computed Tomography Scan?" Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care 55(2): 222 - 227.

Griffith I (1980). "Trauma of the spinal cord." *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 10: 131 - 146.

Grünhagen J, Egbers H, Heller M und Reuter M (2005). "Vergleichende computertomographische und kernspintomographische Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen der BWS und LWS anhand der Magerl-Klassifikation." *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 177: 828-834.

Guiot L und Allman D (2011). "Median sternotomy and ventral stabilisation using pins and polymethylmethacrylate for a comminuted T5 vertebral fracture in a Miniature Schnauzer." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24: 76 - 83.

Hansen H (1951). "A pathologic-anatomical study on disc degeneration in dogs." *Acta Orthopaedica Scandinavica* 11: 1 - 117.

Harms J, Jeszensky D und Stoltze D, Eds. (1996). *Die operative Behandlung der degenerativen Lumbalskoliosen. Chronischer Kreuzschmerz alter Menschen.* München, Zuckschwerdt.

Harter W (2001). "Degenerative Veränderungen der Lendenwirbelsäule als mechanische Wirkung." *Manuelle Medizin - Chirotherapie, Manuelle Therapie* 39: 14-16.

Hawthorne JC, Blevins WE, Wallace LJ, Glickman N und Waters DJ (1999). "Cervical vertebral fractures in 56 dogs: a retrospective study." *J Am Anim Hosp Assoc* 35(2): 135-46.

- Hecht S** (2008). Röntgendiagnostik in der Kleintierpraxis. Stuttgart, New York, Schattauer.
- Hoerlein B** (1971). Canine Neurology - Diagnosis and Treatment. Philadelphia, W. B. Saunders Co.
- Jaggy A**, Ed. (2007). Atlas und Lehrbuch der Kleintierneurologie. Hannover, Schlütersche.
- Jeffrey N**, Ed. (1995). Handbook of Small Animal Spinal Surgery. London, W. B. Saunders Company.
- Johnson A**, Houlton J und Vannini R (2006). AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat, Thieme Verlag.
- Jones J**, Wilson M und Bartels J (1994). "A review of high resolution computed tomography and a proposed technique for regional examination of the canine lumbosacral spine." Veterinary Radiology and Ultrasound 35: 339 - 346.
- King A** (1987). "Physiological and Clinical Anatomy of the Domestic Mammals." Oxford University Press 1.
- Kinns J**, Mai W, Seiler G, Zwingenberger A, Johnson V, Cáceres A, Valdés-Martínez A und Schwarz T (2006). "Radiographic sensitivity and negative predictive value for acute canine spinal trauma." Veterinary Radiology and Ultrasound 47(6): 563 - 570.

- Knop C**, Lauth M, Bühren V, Hax P, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, et al. (1999). "Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs; Teil 1: Epidemiologie." Unfallchirurg 102: 924-935.
- Koch T** und Berg R (1985). Lehrbuch der Veterinär-Anatomie. Jena, VEB Gustav Fischer.
- König H** (1992). Anatomie der Katze. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- König H** und Liebich H (2009). Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Stuttgart, Schattauer Verlag.
- Kramer M**, Schimke E, Gerwing M und Tellhelm B (2001). "Zur Diagnostik und Therapie traumatisch bedingter Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule beim Hund." Tierärztliche Praxis 29: 98 - 106.
- Kummer B** (1959). Biomechanik des Säugetierskeletts. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Lang B** und Loeffler K (1972). "Die Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelsäule bei Hund und Katze." Kleintierpraxis 8(17): 217-223.
- Lanz O**, Jones J und Bergman R (2000). "Use of an External Fixator to Correct Spinal Fracture/Luxation and Instability in Three Dogs." Veterinary Neurology & Neurosurgery Journal 2(4).

Laubenberger T und Laubenberger J (1999). Technik der medizinischen Radiologie, Deutscher Ärzteverlag.

Lautersack O und Kramer M (2000). "Fixateur interne mit Pins und Polymethylmethacrylat zur Fixation einer Instabilität des 5. und 6. Halswirbels nach Ventral Slot-Operation bei einem Rottweilerrüden." Kleintierpraxis 45(10): 773 - 781.

Leucht P (2005). Epidemiologische Erfassung der Wirbelfrakturen im Bergmannsheil Bochum zwischen 1996 und 2000. Bochum.

Lewis D, Stampley A und Bellah J (1989). "Repair of sixth lumbar vertebral fracture-luxations, using transilial pins and plastic spinous-process plates in six dogs." Journal of the American Animal Medical Association 194: 538-542.

Ludders J, Ekstrom P und Linn K (1998). "Complications during surgery for a spinal fracture in a dog." Journal of the American Veterinary Medical Association 213(5): 612 - 614.

Magerl F, Aebi M, Gerstzbein S, Harms J und Nazarian S (1994). "A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries." European Spine Journal 3: 184-201.

Marioni-Henry K, Vite C, Newton A und van Winkle T (2004). "Prevalence of diseases of the spinal cord in cats." Journal of Veterinary Internal Medicine 18(6): 851-858.

- Matthiesen D** (1983). "Thoracolumbar spinal fractures/luxations: surgical management." Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian 5: 867 - 878.
- Mayrhofer E** (2005). Wirbelsäule. Atlas der Röntgenanatomie der Katze. H Waibl. Stuttgart: 30-34.
- McAfee P**, Yuan H, Fredrickson B und Lubicky J (1983). "The value of computed tomography in tomography in thoracolumbar fractures. An analysis of one hundred consecutive cases and a new classification." Journal of Joint and Bone Surgery 65: 461-473.
- McAnulty J**, Lenehan T und Maletz L (1986). "Modified segmental spinal instrumentation in repair of spinal fracture and luxations in dogs." Veterinary Surgery 15(2): 143 - 149.
- McKee W** (1998). Manual of Small Animal Fracture Repair and Management. The Spine. A Coughlan und A Miller. Shurdington, British Small Animal Veterinary Association: 133 - 160.
- McKee W** und Downes C (2008). "Vertebral stabilisation and selective decompression for the management of triple thoracolumbar disc protrusions." Journal of Small Animal Practice 49: 536 - 539.
- Montavon P** (2009). Feline Orhopedic Surgery and Muscoskeletal Disease. Edinburgh, Mosby Elsevier.

- Ness M** (2009). "Repair of Y-T humeral fractures in dogs using paired 'String of Pearls' locking plates." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 22(6): 492-497.
- Nickel R**, Schummer A und Seiferle E (2003). *Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band I*.
- O'Neill T**, Felsenberg D, Varlow J, Cooper C, Kanis J und Silman A (1996). "The Prevalence of Vertebral Deformity in European Men and Women: The European Vertebral Osteoporosis Study." *Journal of Bone and Mineral Research* 11(7): 1010-1018.
- Olby N**, Harris T, Munana K, Skeen T und Sharp N (2003). "Long-term functional outcome of dogs with severe injuries of the thoracolumbar spinal cord; 87 cases." *Journal of the American Animal Hospital Association* 222: 762-769.
- Patterson R** und Smith G (1992). "Backsplinting for treatment of thoracic and lumbar fracture/luxation in the dog: principles of application and case series." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 5: 179-187.
- Resch H, Rabl M, Klampfer H, Ritter E und Povacz P** (2000). "Operative vs. konservative Behandlung von Frakturen des thorakolumbalen Übergangs." *Der Unfallchirurg* 103: 281-288.
- Rouse G** (1975). "The use of methylmethacrylate for spinal stabilization." *Journal of the American Animal Hospital Association* 11: 418-425.

- Rudig L**, Runkel M, Kreitner K, Seidel T und Degreif J (1997). "Kernspintomographische Untersuchung thorakolumbaler Wirbelfrakturen nach Fixateur-interne-Stabilisierung." Unfallchirurg 100: 524-530.
- Ruf M**, Melcher R, Merk H und Harms J (2006). "Anatomische Reposition und monosegmentale Fusion bei hochgradiger dysplastischer Spondylolisthese L5/S1." Zeitschrift für Orthopädie und Ihre Grenzgebiete 144(1): 33-9.
- Rüsse I** und Sinowatz F (1998). Lehrbuch der Embryologie der Haustiere, Parey, Blackwell.
- Saifuddin A**, Noordeen H und Taylor B (1996). "The role of imaging in the diagnosis and management of thoracolumbar burst fractures: current concepts and an review of the literature." The Journal of Skeletal Radiology 25: 89-95.
- Sauerbruch E**, Fischer A und Gorthbrandt E (1954). Bier-Braun-Kümmell Chirurgische Operationslehre. Leipzig, Barth Verlag.
- Schmidt-Oechtering G** und Alef M, Eds. (1993). Epiduralanästhesie. Neue Aspekte der Veterinäranästhesie und Intensivtherapie. Berlin, Hamburg, Parey.
- Schnorr B** und Kressin M (2006). Embryologie der Haustiere, Enke Verlag.
- Selcer R**, Bubbs W und Walter T (1991). "Management of vertebral column fractures in dogs and cats: 211 cases (1977-1985)." Journal of the American Animal Hospital Association 198(11): 1965 - 1968.

- Sharp N** und **Wheeler S** (2005). Small Animal Spinal Disorders: Diagnosis and Surgery, Elsevier Mosby.
- Shires P**, **Waldron D**, **Hedlund C**, **Blass C** und **Massoudi L** (1991). "A biomechanical study of rotational instability in altered and surgically altered canine thoracolumbar vertebral motion units." Progress in Veterinary Neurology 2(1): 6-14.
- Shores A** (1992). "Spinal trauma - Pathophysiologi and management of traumatic spinal injuries." Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice 22: 859 - 887.
- Slijper E** (1946). "Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals." Verh. K. Ned. Akad. Wet. Afd. Natuurk.
- Sommer K** (1998). Frakturen, Luxationen und Luxationsfrakturen der Wirbelsäule bei Hund und Katze. Dissertation. München, Veterinärmedizinische Fakultät München.
- Sturges B** und **LeCouteur R** (2003). Vertebral Fractures and Luxations. Slatter - Textbook of Small Animal Surgery. Philadelphia, WB Saunders: 1244-1261.
- Thacher C** (1989). Neuroanatomic and pathophysiologic aspects of intervertebral disc disease in the dog. Problems in veterinary medicine. Philadelphia: 337-357.

Toombs J und **Waters D** (2003). Intervertebral disc disease. Slatter - Textbook of Small Animal Surgery. Philadelphia: 1193-1209.

Vaccaro A, **Rizzolo S** und **Allardyce T** (1995). "Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part I: Morphometric analysis of the thoracic vertebrae." Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume) 77.

Vaccaro A, **Rizzolo S** und **Allardyce T** (1995). "Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: An anatomic and radiographic assessment." Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume) 77: 1200 - 1206.

Waldron D (1991). "Canine lumbar spinal internal fixation techniques. A comparative biomechanical study." Progress in Veterinary Neurology 2(2): 105-110.

Walker T, **Pierce W** und **Welch R** (2002). "External fixation of the lumbar spine in a canine model." Vet Surg 31(2): 181-188.

Watine S, **Cabassu J**, **Catheland S**, **Brochier L** und **Ivanoff S** (2006). "Computed tomography study of implantation corridors in canine vertebrae." Journal of Small Animal Practice 47: 651 - 657.

Weyrauch K, **Smollich A** und **Schnorr B**, Eds. (1998). Histologiekurs für Veterinärmediziner. Berlin, Enke Verlag.

Wheeler J, Cross A und Rapoff A (2002). "A Comparison of the Accuracy and Safety of Vertebral Body Pin Placement Using a Fluoroscopically Guided Versus an Open Surgical Approach: An In Vitro Study." *Veterinary Surgery* 31: 468 - 474.

Wheeler J, Lewis D, Cross A und Sereda C (2007). "Closed Fluoroscopic-Assisted Spinal Arch External Skeletal Fixation for the Stabilization of Vertebral Column Injuries in Five Dogs." *Veterinary Surgery* 36: 442-448.

White AA und Panjabi M (1990). *Clinical biomechanics of the spine*. Philadelphia.

Wong W und Emms S (1992). "Use of pins and methylmethacrylate in stabilisation of spinal fractures and luxations." *Journal of Small Animal Practice* 33: 415 - 422.

Zietschmann O (1943). *Ellenberger/Baum: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere*. Berlin, Springer Verlag.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 3D Rekonstruktion einer Computertomographie des 3. Brustwirbels eines männlichen Beagles.....	4
Abbildung 2: 3D Rekonstruktion einer Computertomographie des 3. Lendenwirbels eines männlichen Beagles.....	5
Abbildung 3: Die Lendenwirbel von Hund (Beagle) (A) und Katze (EKH) (B) im Vergleich...	6
Abbildung 4: Bewegungssegment einer menschlichen Wirbelsäule, bestehend aus zwei Wirbeln (WHITE und PANJABI 1990).....	11
Abbildung 5: Die Biomechanik der Brust- und Lendenwirbelsäule nach JEFFREY (1995)...	12
Abbildung 6: Biomechanik der Halswirbelsäule des Hundes nach JEFFREY (1995).	13
Abbildung 7: Röntgenbild der Lendenwirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang	15
Abbildung 8: Das Drei-Säulenmodell nach DENIS (1983), adaptiert für den Hund nach JEFFREY (1995):.....	18
Abbildung 9: Schiff-Sherrington Phänomen bei einem 7 Jahre alten DSH.....	22
Abbildung 10: Röntgenbild der kaudalen Brust- und kranialen Lendenwirbelsäule.....	23
Abbildung 11: Röntgenbild der kaudalen Brustwirbelsäule.	24
Abbildung 12: Computertomographie der Lendenwirbelsäule	26
Abbildung 13: Computertomographische dreidimensionale Rekonstruktion	27
Abbildung 14: Magnetresonanztomographie	28
Abbildung 15: Röntgenbild der kaudalen Brust- und kranialen LWS.....	32
Abbildung 16: Schematische Darstellung des Cross Pinning.....	33
Abbildung 17: graphische Darstellung der chirurgischen Versorgung einer Wirbelfraktur (a) mittels Steinmann-Pins und PMMA nach WHEELER.	34
Abbildung 18: String of Pearls – Verriegelungsimplantat	35
Abbildung 19: a) Röntgenbild der kranialen Lendenwirbelsäule im latero-lateralen b): Röntgenbild desselben Hundes im dorso-ventralen Strahlengang	36
Abbildung 20: a) Röntgenbild der kranialen Lendenwirbelsäule.....	36

Abbildung 21: Die Lendenwirbel von Mensch, Katze und Hund im Vergleich.....	37
Abbildung 22: Balkendiagramm zur Darstellung der Geschlechterverteilung der untersuchten Tiere	39
Abbildung 23: Balkendiagramm zur Darstellung der Gewichtsverteilung der untersuchten Tiere.....	40
Abbildung 24: Röntgenbild im latero-lateralen Strahlengang der Brustwirbelsäule.....	41
Abbildung 25: Computertomograph der Klinik für Kleintiere Chirurgie.	43
Abbildung 26: Die drei Lokalisationen, an denen der Implantationswinkel gemessen wurde, schematisch dargestellt am anatomischen Präparat	44
Abbildung 27: Einstellung des Wirbels zur Bestimmung von Lokalisation A	45
Abbildung 28: Sagittalschnitt im Knochenfenster: computertomographische Vermessung des 4. Lendenwirbels	46
Abbildung 29: Einstellung des Wirbels zur Bestimmung von Lokalisation C	47
Abbildung 30: a) schematische Darstellung einer liegenden Sanduhr; b) Sagittalschnitt durch die Lendenwirbelsäule eines Deutschen Schäferhundes	48
Abbildung 31: Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 4. Lendenwirbel	49
Abbildung 32: Vermessung von Wirbelkörperdurchmesser und Wirbelkanaldurchmesser .	50
Abbildung 33: Transversalschnitt im Knochenfenster durch den 3. Lendenwirbel einer Europäisch Kurzhaarkatze.	51
Abbildung 34: Ausschluss der Cristae dorsalis und ventralis	52
Abbildung 35: Darstellung der Messungen (ohne Raster).....	53
Abbildung 36: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule.....	59
Abbildung 37: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule	60
Abbildung 38: Graphik zur Darstellung der optimalen Winkel, bezogen auf die einzelnen Brustwirbel	61
Abbildung 39: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Rauhaardackels, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C	63

Abbildung 40: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Deutschen Schäferhundes, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C.....	64
Abbildung 41: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule der Europäisch Kurzhaarkatze, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C.....	65
Abbildung 42: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Tiergruppen	66
Abbildung 43: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Europäisch Kurzhaarkatze).....	68
Abbildung 44: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Rauhaardackel).....	69
Abbildung 45: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Deutscher Schäferhund)	69
Abbildung 46: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über die einzelnen Lokalisationen (Deutscher Schäferhund).....	70
Abbildung 47: Balkendiagramm zum optimalen Implantationswinkel in der Brustwirbelsäule an allen Lokalisationen über alle Tiergruppen	71
Abbildung 48: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule über alle Lokalisationen (Rauhaardackel), bezogen auf die einzelnen Brustwirbel	72
Abbildung 49: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule über alle Lokalisationen (Deutscher Schäferhund), bezogen auf die einzelnen Brustwirbel.....	73
Abbildung 50: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule über alle Lokalisationen (Europäisch Kurzhaarkatze), bezogen auf die einzelnen Brustwirbel	73
Abbildung 51: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule an allen Lokalisationen über alle Tiergruppen	74
Abbildung 52: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Rauhaardackel), bezogen auf die einzelnen Lendenwirbel.....	76

Abbildung 53: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Deutscher Schäferhund), bezogen auf die einzelnen Lendenwirbel	77
Abbildung 54: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule über alle Lokalisationen (Europäisch Kurzhaarkatze), bezogen auf die einzelnen Lendenwirbel.....	78
Abbildung 55: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Rauhaardackels, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C	80
Abbildung 56: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule des Deutschen Schäferhundes, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C.....	81
Abbildung 57: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Brustwirbelsäule der Europäisch Kurzhaarkatze, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C.....	82
Abbildung 58: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule des Rauhaardackels, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C ..	83
Abbildung 59: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule des Deutschen Schäferhundes, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C.....	85
Abbildung 60: Balkendiagramm zum Mittelwert des optimalen Implantationswinkels in der Lendenwirbelsäule der Europäisch Kurzhaarkatze, bezogen auf die Lokalisationen A, B und C.....	86
Abbildung 61: Balkendiagramm zur Darstellung der optimalen Implantationswinkel in der Brust- und Lendenwirbelsäule an der Lokalisation A; Vergleich aller Patientengruppen	91
Abbildung 62: Balkendiagramm zur Darstellung der optimalen Implantationswinkel in der Brust- und Lendenwirbelsäule an der Lokalisation C; Vergleich aller Patientengruppen	92

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klinische Anzeichen einer thorakolumbalen oder sakrolumbalen Rückenmarksläsion modifiziert nach PLATT und OLBY (2004); Abkürzungen der Rückenmarkssegmente:	21
Tabelle 2: Ergebnisse zur dreifaktoriellen Varianzanalyse.	56
Tabelle 3: Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse für den RHD.	57
Tabelle 4: Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse für den DSH.	57
Tabelle 5: Ergebnisse zur zweifaktoriellen Varianzanalyse für die EKH.....	58
Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse für den optimalen Implantationswinkel beim Rauhaardackel.	88
Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse für den optimalen Implantationswinkel beim Deutschen Schäferhund.....	89
Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse für den optimalen Implantationswinkel bei der Europäisch Kurzhaarkatze.	90

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei all denen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben und ohne die ich diese Arbeit längst noch nicht angefangen, geschweige denn jemals beendet hätte.

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Martin Kramer, der mich in den letzten Jahren immer gefördert, gefordert, infrage gestellt und ausnahmslos unterstützt hat. Einen besseren Chef kann ich mir nicht wünschen.

Herrn Dr. Martin Schmidt danke ich ganz herzlich für die hervorragende, stets konsequente und vor allem lehrreiche Betreuung meiner Arbeit - und dafür, dass er mich immer im richtigen Moment ausgebremst hat, wenn ich zu enthusiastisch losgaloppiert bin.

Dr. Klaus Failing möchte ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten danken.

Den Mitarbeitern der Abteilung Bildgebende Verfahren der Klinik für Kleintiere, Chirurgie möchte ich für die unzähligen Tipps und ihre unerreichte Hilfsbereitschaft danken – ohne sie würde ich wohl noch immer kuhäugig vor der Workstation der CT sitzen und auf eine erhellende Eingebung hoffen. Mein besonderer Dank gilt hier Dr. Heike Karpenstein, Dr. Nele Ondreka und Ella Wenz.

Dr. Martin Köhle aus Berlin möchte ich dafür danken, dass er mich mit seinem freundschaftlichen Spott dazu bewegt hat, nach Gießen zu ziehen, um eine Doktorarbeit zu schreiben. Von ihm habe ich neben vielen fachlichen Dingen vor allem eins gelernt: „Chirurgie ist cool und macht riesig Spaß. Aber es gibt bedeutend wichtigeres im Leben.“

Meinen Freunden möchte ich dafür danken, dass sie mich während meiner Zeit in Gießen aus allen Ecken der Welt unterstützt und ermutigt haben, diesen Weg weiter zu gehen. Eure liebevollen Tritte in meinen Allerwertesten sind wirklich immer im richtigen Moment angekommen.

Meiner Familie gilt ein ganz besonderer Dank. Meiner unglaublichen Mutter, ohne die ich niemals Tiermedizin studiert hätte und die mir immer alles ermöglicht hat, selbst wenn die Situation aussichtslos erschien. Meinem Bruder Philipp, der mich immer kritisch hinterfragt hat und dies hoffentlich noch viele viele Jahre lang tun wird.

Und natürlich meinem Mann Patrick, der mit mir nicht nur in jedes Haifischbecken springt, sondern mich auch immer im richtigen Moment wieder herauszieht.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe, sondern nur Hilfen benutzt habe, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind sowie alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-5908-8



9 17 8 3 8 3 5 19 5 9 0 8 8